VESIHALLITUS—NATIONAL BOARD OF WATERS, FINLAND

Tiedotus
Report **178**

JUHANI PUOLANNE

JÄTEVESILIETTEEN KÄSITTELYN KUSTANNUKSIA JA KONEELLISEN KUIVAUKSEN KÄYTTÖ-KOKEMUKSIA

English Summary: Costs of waste water sludge treatment and operational experience of mechanical dewatering

MATTI ETTALA

JÄTEVESILIETTEEN KÄSITTELYVAIHTOEHDOISTA HELSINGIN VESIPIIRIN ALUEELLA

English Summary: Alternative treatment methods for waste water sludge in the Helsinki water district

ERKKI KEMPPAINEN

KOMPOSTOINTI JÄTEVESILIETTEEN HYÖDYNTÄMISKEINONA

English Summary: Composting as a means of utilizing waste water sludge

HELSINKI 1979

ISBN 951-46-4457-3
ISSN 0355-0745

S I S Ä L L Y S L U E T T E L O

Juhani Puolanne

JÄTEVESILIETTEEN KÄSITTELYN KUSTANNUKSIA JA KONEELLISEN KUIVAUKSEN KÄYTTÖKOKEMUKSIA

ENGLISH SUMMARY: Costs of Waste Water Sludge Treatment and Operational Experience of Mechanical Dewatering

JÄTEVESILIETTEEN KÄSITTELYN KUSTANNUKSIA JA KONEELLISEN KUIVAUKSEN KÄYTTÖKOKEMUKSIA

SISÄLLYSLUETTELO

1. J O H D A N T O

Tämä tutkimus on jatkoa vesihallituksen lietetutkimustoiminnalle, joka alkoi v. 1972 Euroopan teknologiayhteistyön COST 68 lieteprojektina. Kansainvälisen yhteistyön päättyessä v. 1974 vesihallitus anoi varoja kauppa- ja teollisuusministeriöltä tavoitetutkimuksiin, joiden tarkoituksena oli mm. myötävaikuttaa alkaneeseen jätevesilietteen hyväksikäytön suunnitteluun. Alkuvaiheessa tutkittiin lietteen laatuun liittyviä kysymyksiä (Puolanne 1978), minkä jälkeen katsottiin tarpeelliseksi selvittää lietteen koneellisen kuivauksen tekniikkaa ja kustannuksia. Kauppa- ja teollisuusministeriön rahoittama vuoden mittainen työ osoittautui informaation määrään ja koetoiminnan laajuuteen nähden riittämättömäksi. Projekti jatkui osana vesihallituksen omaa tutkimustoimintaa vuosina 1977ja 1978. Projektin aikana osallistuttiin myös uuden COST lieteprojektin valmisteluun sekä oltiin yhteistoiminnassa muiden pohjoismaiden kanssa Nordforskin kautta ja neuvostoliittolaisten asiantuntijoiden kanssa Suomen ja NL:n välisen tieteellis-teknillisen yhteistoimintakomitean kautta.

Vuoden 1976 aikana oli projektia ohjaamassa johtoryhmä, jonka puheenjohtajana oli toimitusjohtaja Heino Leskelä (Asko-Upo Oy) ja jäseninä DI Aarno Kavonius (Suomen teollisuusliitto), DI Kaarina Pekkanen (Kauppa- ja teollisuusministeriö), FK Ilkka Viitasalo (HKR, vesilaboratorio) sekä toimistopäälliköt Hannu Laikari ja Eero Laukkanen samoin kuin agr. Heikki Latostenmaa vesihallituksesta. Johtoryhmän sihteerinä ja projektin vastuuhenkilönä toimi DI Juhani Puolanne. Projektin laboratorio- ja koetoimintaa hoiti kem.tekn. Sirkka-Leena Hellman, alkuaikoina myös lab. Jorma Koponen. Tulosten atk-käsittelystä on vastannut tutkija Pekka Turtiainen.

Tämä raportti perustuu lietteen käsittelyn kustannuksia ja käyttökokemuksia kartoittaneeseen tiedusteluun, josta saatua aineistoa käsitellään luvuissa 2-4, sekä lietteen kunnostuksen ja kuivauksen optimointimahdollisuuksien selvittämiseen (luku 5), jota on tehty laboratoriotutkimuksena lukuunottamatta eräitä puhdistamoilla suoritettuja koeajoja.

2. LIETTEEN KÄSITTELYN KUSTANNUKSET

2.1 KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN

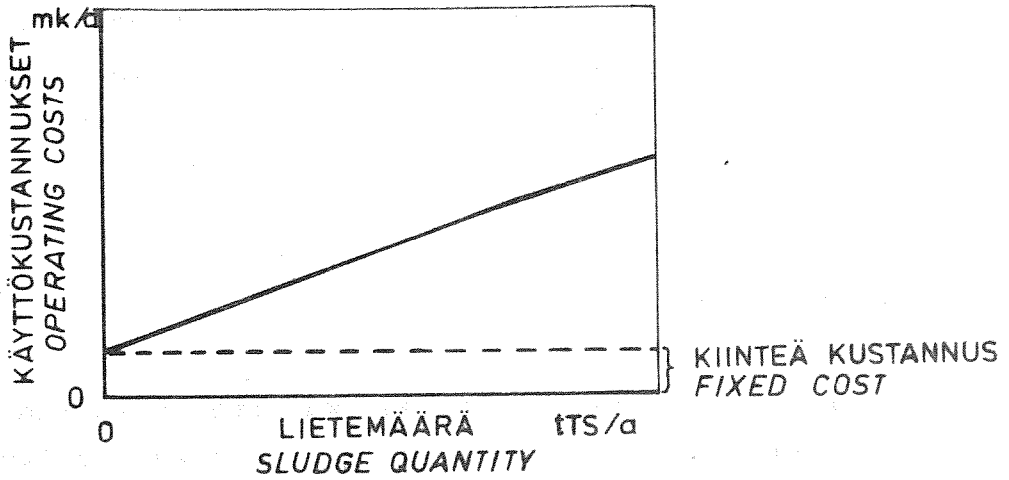
Lietteen käsittelyn kustannukset muodostuvat:

- teknisestä varsinaisesta lietteen käsittelystä puhdistamolla. Tavallisia käsittelyvaihtoehtoja ovat tiivistys, stabilointi, kunnostus ja kuivaus, mahdollinen kompostointi, lyhytaikainen välivarastointi ja lietteen siirrot puhdistamon sisällä kuormaukseen asti,
- lietteen käsittelystä puhdistamoalueen ulkopuolella. Menetelmiä ovat kompostointi, lietteen sekoitus eri seosaineisiin ja pitkäaikainen varastointi,
- siirtokustannuksista lietteen käsittelyn ja lopullisen sijoittamisen välillä ml. kuormaukset ja kuljetukset,
- sijoittamiskustannuksista, joihin kuuluvat lietteen välivarastointi sijoituskohteessa, tarpeelliset siirtokuormaukset ja levitystoimenpiteet sekä lietteestä mahdollisesti aiheutuvat lisäkustannukset kaatopaikoilla.

Jokainen edellä luetelluista toimenpiteistä aiheuttaa hankinta- ja käyttökustannuksia. Käyttökustannukset muodostuvat energian, veden, huollon, korjausten, kemikalien ja lisäaineiden kustannuksista sekä käyttöhenkilökunnan ja ulkopuolisten urakoitsijoiden palkoista ja koneiden vuokrista. Hankintakustannukset ilmaistaan usein pääomakuluina, jolloin korkokantana käytetään 6-8 % ja kuoletusaikana 10-40 v (Autti 1978, Hansen 1978).

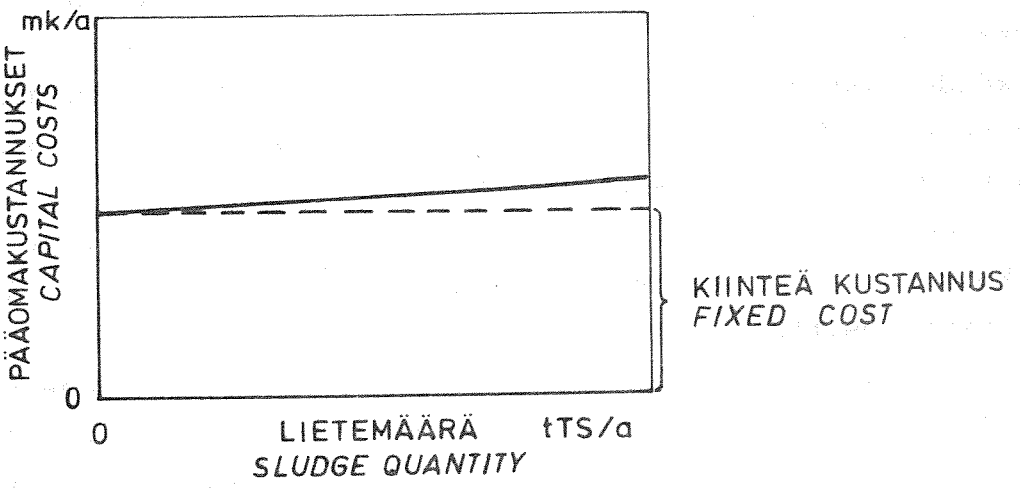
Kullekin lietteen käsittelyvaiheelle voidaan tietyssä mitoitustilanteessa esittää vuotuiset kokonaiskustannukset prosessin kuormitusasteen perusteella. Käyttö- ja pääomakustannukset voidaan esittää lineaarisina riittävällä tarkkuudella. Käyttökustannukset muodostuvat useimmiten pelkästään lietemäärästä riippuvista kustannuksista, mutta niissäkin voidaan ajatella olevan tietty kiinteä osa (esim. energian liittymiskustannus, käyttäjän peruspalkan osa), joka syntyy vaikkei lietettä käsiteltäisi lainkaan (kuva 1).

Samalla tavoin voidaan esittää vuotuiset pääomakustannukset lietemäärän funktiona. Pääomakustannuksissa kiinteä osa on hallitseva ja muuttuva osa usein varsin pieni (kuva 2).



Kuva 1. Lietteen käsittelyn vuotuiset käyttökustannukset lietemäärän funktiona.

Fig. 1. Annual operating costs of sludge treatment as a function of sludge quantity.



Kuva 2. Lietteen käsittelyn vuotuiset pääomakustannukset lietemäärän funktiona.

Fig. 2. Annual capital costs of sludge treatment as a function of sludge quantity.

Vuosikustannukset saadaan ylläolevien kustannusfunktioiden summana. Käytännössä pitäisi lietemäärän olla kussakin käsittelymenetelmässä lähellä mitoitusarvoa, sillä varsinkin pääomavaltaisissa tapauksissa lietteen käsittelyn yksikkökustannus (mk/tTs) nousee voimakkaasti vajaatehoisen käytön seurauksena.

Edellä esitetty kustannustarkastelu sopii pienistä epätarkuuksistaan huolimatta optimointitehtäviin, joissa etsitään vuosikustannuksiltaan edullisimpia ratkaisuja suuresta vaihtoehtojen määrästä. Tällöin voidaan menestyksellisesti käyttää hyväksi sekoitettuun kokonaislukuohjelmointiin (Mixed integer programming) perustuvia ohjelmapaketteja ongelman analysoinnissa (Hansen 1978).

Toinen tapa ilmoittaa kustannukset on esittää lietteen kuiva-ainetonnin käsittelykustannukset lietemäärän funktiona. Tätä lähestymistapaa on käytetty tässä raportissa. Myös kirjallisuudesta peräisin olevat tiedot on mahdollisuuksien mukaan muutettu tähän muotoon.

2.2 KIRJALLISUUDEN KUSTANNUSTIETOJA

Valmista käyttökelpoista tietoa lietteen käsittelyn kustannuksista on saatavissa verraten vähän. Tavallisesti lietteen käsittelyn kustannukset on sisällytetty ilman erittelyä jäteveden puhdistuksen kustannuksiin. Lietteen käsittelykustannukset on joskus ilmoitettu prosentteina jäteveden käsittelyn kustannuksista. Tällaisista tiedoista on vain vähän hyötyä, mikäli lietteen käsittelyn prosessiyksiköitä ei ole eritelty. Lietteen käsittelyn aiheuttamia kustannuksia onkin vaikea selvittää ja vertailla, sillä:

- yksiköiden kuormitus vastaa harvoin niiden mitoituskuormitusta. Kustannukset pyritään ilmoittamaan mitoituskuorman perusteella, mikä ei vastaa todellisuutta,
- yksiköiden mitoitusperusteet saattavat poiketa toisistaan,
- yksiköiden toimintatulos saattaa olla epätyydyttävä, jolloin käsittely menee osittain hukkaan,
- lietteen laatu vaihtelee puhdistamosta ja puhdistusmenetelmästä riippuen. Lisäksi se vaihtelee samalla puhdistamollakin huomattavasti mm. eri vuodenaikoina. Käsittely-yksiköiden toimintaedellytykset ja kustannukset eivät siis ole aina vertailukelpoisia,
- lietteen käsittely-yksiköiden hoito ja käyttö sekä lietteen käsittelyn ja laitoksen viimeistelyn taso vaihtelevat. Vanhat ratkaisut eivät vastaa kaikilta osin uusia. Pysyviä, kauas tulevaisuuteen mitoitettuja yksikköjä ei voi verrata tilapäisiin halpoihin ratkaisuihin,
- suhdannevaihtelut näkyvät investointien suuruudessa. Huonoina aikoina investoidaan vähemmän, mutta halvemmalla kuin hyvinä aikoina,
- eri maissa toteutettujen ratkaisujen tasokkuus, kustannusrakenne ja kustannusmuutokset ajan mukana vaihtelevat vaikeuttaen vertailua,
- kustannuksia on ilmoitettu toisaalla käsiteltävää, toisaalla käsiteltyä lietemäärää kohti, mikä voi aiheuttaa jopa n. 30 % virheen,
- lietteen käsittelyn osuus rakennus- ja yleiskustannuksista puuttuu usein.

Käyttökelpoisia kotimaisia kustannustietoja on esitetty INSKO:n julkaisussa 81-75, jossa on esitetty investointien kustannusarviot 40 000 asukkaan jätevesilietteen tiivistykselle flotaatiolla, kalkkistabiloinnille, imusuotimille, kammiosuotimille ja suotonauhoille. Siinä on lisäksi esitetty eräitä kustannustietoja lahotuksesta, pastöroinnista, lämpökuivauksesta ja poltosta (Laakso, Montonen, Salokangas, Vaittinen, Stenberg, Lahtinen, Markkanen, Lahti ja Nieminen 1976). Flink (1975) on esittänyt diplomityössään tiivistyksen, erilaisten stabilointitapojen ja kuivauksen eri kombinaatioiden käyttö- ja pääomakustannuksia 5 000, 20 000, 50 000 ja 200 000 asukkaan laitoksille. YVY-tutkimuksessa n:o 1 (1975) esitetään suurille laitoksille sopivien lietteen käsittelyvaihtoehtojen suhteellisia investointi- ja käyttökustannuksia. Markkanen (1975) on esittänyt koneellisen kuivauksen vaikeuden vaikutuksia polyelektrolyyttikustannuksiin. Ramberg (1975) on tarkastellut lietteen, kalkin ja kuoren yhdistämisen taloudellisia edellytyksiä. YVY-tutkimus 21 (1976) sisältää katsauksen nestemäisen ja kuivatun lietteen aumakompostoinnin kustannuksiin. Maa- ja metsätalousministeriön lietetyöryhmän ehdotuksessa (1976) on tarkasteltu 10 000 asukkaan laitoksen lietteen käsittely- ja sijoitusvaihtoehtojen vuotuisia kustannuksia sekä lietteen käsittelyn vaatimien investointien ja käyttökustannusten osuutta puhdistamoiden koko kustannuksista. Suomessa valmistettujen kompostisekoittimien hintatietoja on esitetty valmistajien esitteissä. Siirto- ja levityskustannuksia on saatu KTK:n taksoista ja maatalouden työnormeista. Kaatopaikkakustannuksia on laskettu suunnitelmien ja esimerkkitapausten avulla. Puolanne (1978) on esittänyt lietteen käsittelyn ja sijoittamisen kustannuksia, jotka osittain perustuvat em. lähteisiin.

Muita pohjoismaisia kustannustietoja on esitetty sekä graafisesti että numeerisesti. Lietteen kuivauksen ja kuljetuksen vuosikustannuksia Tanskan olosuhteista on käsitelty mm. Hansenin yhteenvedossa (1978). Erilaisten lietteen käsittelyvaihtoehtojen investointi-, vuosi- ja yksikkökustannuksia Ruotsissa on esitetty varsin perusteellisesti useissa lähteissä (Rennerfelt 1972, Ulmgren 1975, 1977 ja 1978). Hultman (1976) on tarkastellut lietteen reaktorikompostoinnin kustannuksia. Hökervall (1975) on esittänyt eri kuivaimien käyttökustannuksia. Norjaan soveltuvia kustannuslaskelmia lietteen kuivauksesta ja kuljetuksesta on tehnyt Paulsrud (1975).

Muut ulkomaiset kustannukset ovat suuntaa-antavia hajatietoja. Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluviraston (EPA) "Lietekäsikirja" (1974) sisältää tiivistystä, lahotusta ja mädätystä koskevia käyttö-, investointi- ja pääomakustannuksia. Reimann (1975) ja Eggink (1973) ovat esittäneet lietteen kuivauskustannuksia. Vesilind (1972) on vertaillut vaihtoehtoisia lietteen käsittelyratkaisuja mukaan lukien lietteen sijoitus. Tämän laatuisia vertailulaskelmia on esitetty useissa lehtiartikkeleissa, mutta ne ovat tapauskohtaisia ja vaikuttavat usein kovin subjektiivisilta.

Kirjallisuustiedot on muutettu keskenään vertailukelpoisiksi osittelemalla niitä tarpeen mukaan ja käyttäen v. 1978 keskimääräisiä valuuttakursseja. Pääomakulut on laskettu 12 % annuiteettia käyttäen, mikäli se on ollut mahdollista. Se vastaa 6 % korkokannalla n. 12 vuoden kuoletusaikaa tai 7 % mukaan laskien n. 13 vuoden kuoletusaikaa. Valittu suurehko annuiteetti on perusteltavissa koneistojen nopealla uudistumisella. Laskentakoroksi suositeltu 6 % on sitäpaitsi käytännön olosuhteissa alhainen eikä vastaa muissa Pohjoismaissa käytettyä laskentakorkoa (Hansen 1978). Indeksikorjauksia ei ole tehty, koska eri maiden indeksikehitys ei ole ollut tiedossa.

2.21 T i i v i s t y s

Gravitaatiotiivistystä koskevat lähdetiedot on esitetty liitteessä 1. Tiivistyksen kustannukset muodostuvat 70-75 %:sti pääomakustannuksista. Tiivistyksen kustannukset ovat suhteellisen pienet. Ruotsalainen arvio tiivistyksen kustannuksista on merkittävästi muita korkeampi. Muut ovatkin ilmeisesti liian alhaisia tämän päivän kustannustasoon nähden.

2.22 S t a b i l o i n t i

Eri lähteistä kerättyjen lahotuksen kustannustietojen hajonta ei ole liitteen 2 mukaan kovin merkittävä. Pääomakustannukset ovat noin 50 % kokonaiskustannuksista. Flink (1975) on sisällyttänyt sekä lahotuksen että mädätyksen kustannuksiin myös jälkitiivistyksen.

Mädätyksestä esitettyjen harvojen kustannusten hajonta on melkoinen. Pääomakustannukset ovat 60-80 % kaikista kustannuksista. Todelliset kustannukset Suomen olosuhteissa lienevät liitteessä 3 esitettyjen käyrien välissä.

Kalkkistabiloinnin kustannuksiin on sisällytetty kalkkisiilo, annostelu- ja sekoituslaitteet sekä tiivistämö. Kalkkistabiloinnin kokonaiskustannukset riippuvat jyrkästi stabilointiin käytetyn kalkin määrästä. Riittävä kalkkilisäys nostamaan pH:n yli 11 saattaa suotuisissa oloissa olla 10 % lietteen kuiva-ainemäärästä, mutta annostelu on käytännössä usein 15-30 %. Pääomakustannusten hajonta ei liitteen 4 mukaan ole kohtuuttoman suuri. Kokonaiskustannusten hajonta selittyy osittain juuri erilaisilla kalkkiannoksilla.

2.23 Koneellinen kuivaus

Koneellisen kuivauksen kokonaiskustannusten hajonta on varsin suuri. Hajonta johtuu osittain lietteiden erilaisista kuivausominaisuuksista (Markkanen 1975) ja erilaisista laitteista. Pääomakustannuksia on ollut tiedossa suhteellisen vähän. Liitteestä 5 puuttuu eräitä kustannustietoja, jotka sisälsivät ainoastaan koneiston kustannukset. Tyypillistä koneelliselle kuivaukselle on, että kustannukset ja niiden hajonta nousevat erittäin jyrkästi laitoskoon pienetessä. Kun alle 5000 asukkaan laitoksella (135 tTS/a) kokonaiskustannukset ovat 400-650 mk/tTS, ovat ne alle 1000 asukkaan (27 tTS/a) laitoksella jo 1100-2600 mk/tTS (Paulsrud 1975, Ulmgren 1978).

2.34 Kompostointi

Kompostointi jakautuu kahteen menetelmään: aumakompostointiin ja reaktorikompostointiin. Reaktoreita voidaan käyttää menestyksellisesti ja taloudellisesti vain niin suurilla laitoksilla, että ne tulevat meillä harvoin kysymykseen. Reaktorikompostoinnin lopputuote täytyy voida markkinoida, muuten kompostointi tulee kohtuuttoman kalliiksi. Reaktorikompostoinnin kustannukset ovat laitevalmistajien mukaan 300-700 mk/tTS, vaikka Hultmanin (1976) mukaan voidaan päästä jopa 140-180 mk/tTS kustannuksiin 2900 tTS/a (n. 80 000 asukkaan) laitoksella. Ulmgrenin (1977) mukaan ovat reaktorikompostoinnin kustannukset kuitenkin tämän kokoisella laitoksella noin 600 mk/tTS ja pienemmällä 400 tTS/a (n. 10 000 asukkaan) laitoksella noin 1300 mk/tTS.

Aumakompostointi perustuu lietteen ja lisäaineen sekoittamiseen joko erityisellä sekoittimella tai kuormaimen kauhalla. Auman kääntäminen tapahtuu kuormaimen kauhalla tai vastaavalla. Liitteessä 6 on esitetty ilman erityistä sekoitinta suoritettavan aumakompostoinnin kustannukset kuivatulle lietteelle. Kompostoinnin kokonaiskustannukset riippuvat voimakkaasti kuoren hinnasta ja seossuhteesta. Kuoren hinnaksi paikalle tuotuna on arvioitu 6 mk/m^3. Lietteen ja kuoren tilavuus-sekoitussuhteeksi on otettu 1:3. Pääomakustannusten osuus on 10-15 % kokonaiskustannuksista. Mikäli kompostoidulle lietteelle löytyy ostajia, voi tuotteesta saada 15-30 mk/m^3, joka siis pienentää kompostointikustannuksia 60-120 mk/tTS.

2.25 Kuljetus- ja sijoituskustannukset

Lietteen kuljetus- ja sijoituskustannuksia on arvioitu vuoden 1977 hintatasossa liitteissä 7 ja 8. Kuljetuskustannuksiin vaikuttavat lietteen kuiva-ainepitoisuus ja kuljetusmatka. Mikäli liete joudutaan välivarastoimaan, tulee lisäksi ainakin yksi ylimääräinen siirtokuormaus. Kuormauksia voi esiintyä lisäksi puhdistamolla ja kuljetusajoneuvosta levitysajoneuvoon.

Lietteen kaatopaikkakustannuksista ei ole tehty luotettavaa selvitystä ja esitetyt kustannukset perustuvat esimerkkilaskelmiin. Kuivattu liete levitetään kaatopaikalla talousjätteiden joukkoon, jolloin ei tarvita investointeja. Käyttökustannukset riippuvat laskentatavasta. Mikäli lasketaan vain lietteen aiheuttamat lisäkustannukset, päästään suhteellisen pieniin kuluihin. Todellisuudessa pitäisi lietteen kaatopaikkakustannukset kuitenkin laskea kaatopaikan kaikkien kustannusten perusteella.

2.26 Ohjekustannukset suunnittelua varten

Lietteen hyväksikäytön yleissuunnittelua varten tarvittiin v. 1977 ohjeellisia lietteen käsittelyn, kuljetuksen ja hyväksikäytön kustannuksia. Investointi-, pääoma- ja käyttökustannukset päätettiin esittää taulukkomuodossa neljälle eri kokoiselle puhdistamolle kysymykseen tulevin lietteen käsittelyvaihtoehdoin. Kustannukset laskettiin lietteen käsittelyn prosessiyksikköjen yhdistelmille, jotta tulos olisi luotetta-

vampi. Jatkokäsittely-, varastointi-, kuljetus- ja levityskustannukset on ilmoitettu erikseen. Edellä esitetyn (erityisesti pohjoismaisen) tiedon perusteella ja suunnittelijoiden kanssa käytyjen keskustelujen jälkeen laadittiin taulukot (liite 9), jotka muodostivat suunnittelutyön lähtökohdan.

2.3 TIEDUSTELU

Lietteen käsittelyn kustannuksia ja käyttökokemuksia tiedusteltiin vv. 1976 ja 1977 aikana kaikilta niiltä puhdistamoilta, joilla tiedettiin olevan koneellinen kuivaus (liite 10). Ensisijaisena tavoitteena oli selvittää kuivauksen todelliset kustannukset, käytössä saadut kokemukset ja kuivaimien käytön parantamiseksi tehdyn työn määrä. 4-sivuiset tiedustelulomakkeet (liite 11) lähetettiin kuntiin, suunnittelijoille ja KVR-urakoitsijoille. Vastauksina saatiin tietoja 83 puhdistamolta. Saatujen tietojen käyttökelpoisuus vaihteli, minkä vuoksi tietoja täydennettiin mm. vesihallituksen puhdistamokortiston (1977) avulla. Vastausten muokkaamisessa jouduttiin käyttämään jonkin verran keskimääräisiä kemikali- ja miestyötuntihintoja. Alkuperäisiä tiedustelukaavakkeita jouduttiin varsinkin lähtö- ja kustannustietojen osalta muuttamaan ATK-käsittelyä varten. Lisäksi lietemäärät arvioitiin erikseen todellisten virtaama- ja kuormitustietojen, kuivaimien käyttötuntien ja ilmoitettujen kapasiteettien sekä polyelektrolyyttien kulutustietojen perusteella. Lopullisen lävistyslomakkeen malli on liitteenä 12.

Tiedustelun vastausmateriaali sisälsi koneellisen kuivauksen ohella muutakin käyttökelpoista tietoa, jonka tuloksia on käsitelty tässä raportissa.

Puhdistamot jaettiin viiteen kokoluokkaan vuotuisten lietemäärien perusteella, jolloin lietemääränä käytettiin vastausten perusteella lähinnä oikeaksi arvioitua määrää. Kyseinen määrä on puhdistamolta poistuvan käsitellyn lietteen määrä. Lietemäärää käytettiin luokitteluperusteena, koska vain sitä käyttäen voidaan luotettavasti selvittää lietteen käsittelykustannukset. Pienimmän kokoluokan yläraja 200 tTS/a vastaa biologisella tai tavallisella biologis-kemiallisella laitoksella 5000-6000 AVL eli 2000-2500 m^3/d laitosta. Tiedustelun piiriin kuuluneista laitoksista joka kolmas kuului pienim-

pään kokoluokkaan. Stabilointi mädättämällä oli tyypillisesti suurimpien laitosten lietteen käsittelytapa, kun taas lahotus ja kalkkistabilointi olivat yleisiä pienimmillä laitoksilla. Stabilointi oli muutenkin yleisempää pienillä kuin suurilla laitoksilla, joiden luulisi nimenomaan sitä tarvitsevan (taulukko 1).

Taulukko 1. Tiedustelun puhdistamoiden lukumäärät eri kokoluokissa puhdistus- ja stabilointimenetelmien mukaisesti v. 1976.
Table 1. Numbers of treatment plants of the inquiry in different size classes according to treatment method and stabilization method in 1976.

		Puhdistamon koko *Treatment plant size* (tTS/a)						
		Ei tied. *Unspecified*	≤200	≤400	≤800	≤1600	>1600	Σ
Puhdistamotyyppi *: *Type of treatment plant*:								
K	Ca	1	1	2	0	3	2	9
	Ca+Fe	2	0	0	2	1	1	6
	AL	0	0	0	0	0	2	2
MK	Ca	0	0	0	0	0	2	2
	Ca+Fe	0	0	0	0	3	1	4
	AL	1	1	0	0	1	0	3
B		0	0	0	1	2	1	4
BK	Fe	1	21	8	3	4	3	40
K+B	Ca+Fe	1	0	0	0	0	1	2
B+K	Ca+Fe	0	3	0	0	0	0	3
	AL	0	2	1	2	1	0	6
M		0	0	1	0	0	0	1
Yht.	*Total*	6	28	12	8	16	11	81
Stabilointimenetelmä: *Method of stabilization:*								
Ei stabilointia *None*		4	6	5	4	10	9	38
Mädätys *Anaerobic stab.*		3	0	1	0	4	2	10
Lahotus *Aerobic stab.*		1	7	2	0	1	0	11
Ca-stab. *Lime-stab.*		2	14	3	2	0	0	21

K	Kemiallinen selkeytys	*Chemical sedimentation*
MK	Suorasaostus (m.l. etuselkeytys)	*Direct precipitation (incl.primary sedimentation)*
B	Biologinen käsittely (m.l. etuselkeytys)	*Primary and secondary treatment*
BK	Rinnakkaissaostus	*Simultaneous precipitation*
K+B	Esisasotus	*Pre-precipitation*
B+K	Jälkisaostus	*Post-precipitation*
M	Mekaaninen käsittely	*Primary treatment*

Lietteen kuivaus lingolla oli yleisintä, vaikka suotonauhoja olikin eniten rinnakkaissaostuslaitoksilla. Linkoja käytettiin useammassa eri tyyppisessä puhdistamossa kuin suotonauhoja (taulukko 2).

Taulukko 2. Lietteen koneellinen kuivaus tiedustelun puhdistamolla v. 1976.
Table 2. Mechanical sludge dewatering at treatment plants of the inquiry in 1976.

Puhdistamotyyppi *Type of treatment plant*		Kuivaintyyppi *Type of dewatering apparatus*			
		Linko *Centrifuge*	Suotonauha *Belt press*	Imusuodatin *Vac.filter*	Kammiosuodatin *Filter press*
K	Ca	4	5		
	Ca+Fe	5		1	
	AL	3			
MK	Ca		1		
	Ca+Fe	3			1
	AL	3			
B		4	2		
BK	Fe	16	21	2	1
K+B	Ca+Fe	1		1	
B+K	Ca+Fe		3		
	AL	4	2		
M		1			
Yhteensä *Total*		44	34	4	2

Lietteen jatkokäsittely oli toteutettu ORSA-menetelmällä kolmella puhdistamolla. Erityisiä lietteen välivarastoja oli käytössä 11 laitoksella.

2.4 KUIVAUKSEN KÄYTTÖKUSTANNUKSET

Polyelektrolyyttikustannukset vaihtelivat vv. 1975-1976 välillä 14-158 mk/tTS. Koko aineiston keskiarvo oli 56 mk/tTS. Pienimmässä kokoluokassa olivat keskimääräiset kustannukset 67 mk/tTS, suuremmissa vastaavasti vähemmän (taulukko 3). Biologisissa puhdistamoissa olivat polyelektrolyyttien kustannukset keskiarvon tuntumassa, kun taas rinnakkaissaostus, suorasaostus kalkilla ja raudalla ja jälkisaostus alumiinilla nostivat kustannukset keskimäärin 63 mk/tTS:aan. Korkeimmat kustannukset todettiin esisaostuksessa kalkkia ja rautaa sekä suorasaostuksessa alumiinia käyttävillä laitoksilla, joilla kustannukset olivat keskimäärin 95-100 mk/tTS. Lietteen stabilointimenetelmä ei vaikuttanut polyelektrolyyttikustannuksiin kuivattaessa lietettä suotonauhalla, vaan kustannukset olivat menetelmästä riippuen keskimäärin 42-50 mk/tTS. Lingoilla vastaavat kustannukset vaihtelivat välillä 42-93 mk/tTS. Linkojen suotonauhoja suuremmat polyelektrolyyttikustannukset tulivat systemaattisesti esille myös tarkasteltaessa ko. kustannuksia puhdistamotyypeittäin. Linkojen

keskimääräiset polyelektrolyyttikustannukset koko aineistossa olivat 64 mk/tTS, kun kustannukset suotonauhoilla olivat 44 mk/tTS.

Veden hinta puhdistamoilla vaihteli 0,10-2,85 mk/m^3. Kokoluokkien väliset erot olivat pieniä. Keskimääräinen veden hinta vv. 1975-1976 oli 1,21 mk/m^3. Lietteen käsittelyssä tarvittavan veden kustannukset vaihtelivat melkoisesti johtuen osittain siitä, että kaikilla laitoksilla ei pystytä mittaamaan erikseen lietteen käsittelyyn menevän veden määrää. Vesikustannukset pienimmässä kokoluokassa olivat varsin suuret verrattuna muiden kokoluokkien vesikustannuksiin. Suotonauhoja käyttävien laitosten vesikustannukset olivat keskimäärin 21 mk/tTS, lingoilla taas 9 mk/tTS. Koska linkouksessa ei tarvita vettä, sisältynee kustannuksiin lietepuolen laitteiden ja tilojen pesu sekä polyelektrolyyttiliuoksiin käytetty vesi.

Energian hinta pienimmillä laitoksilla oli keskimäärin 18,7 p/kWh ja suurimmilla 14,5 p/kWh. Energiakustannuksissa pätee sama kuin vesikustannuksissakin: saattaa olla niin, ettei pelkkä kuivauksen kuluttama energia tule mitattua erikseen. Pienillä laitoksilla olivat kuivauksen ilmoitetut energiakustannukset neljä kertaa suuremmat kuin suurilla laitoksilla. Linkojen keskimääräisiksi energiakustannuksiksi saatiin 23 mk/tTS ja suotonauhoilla 19 mk/tTS.

Huollot ja korjaukset oli tehty laitosten omin voimin tai ulkopuolisia käyttäen. Kustannusten vaihteluväli oli varsin suuri, pienin arvo oli 0,20 mk/tTS ja suurin 112 mk/tTS. Vaihtelut eivät riippuneet laitoskoosta, puhdistusmenetelmästä tai stabilointimenetelmästä vaan konetyypistä. Ylivoimaisesti suurimmat kustannukset aiheutuivat Passavant suotonauhoista, joiden ansiosta suotonauhojen keskimääräiset huolto- ja korjauskustannukset olivat 19 mk/tTS ja linkojen 13 mk/tTS.

Palkkakustannusten laskutapa puhdistamoilla vaihteli, palkoiksi ilmoitettiin 12-30 mk/h. Laskelmissa käytettiin näitä lukuja, mutta mikäli kuivaimen käyttäjästä ilmoitettiin vain työtuntien määrä, tuntipalkaksi kaikkine lakisääteisine kuluineen oletettiin v. 1975 22 mk/h ja v. 1976 25 mk/h. Pienillä laitoksilla on varmasti vaikea erottaa kuivaimen käytön osuutta yhden tai kahden henkilön palkkakustannuksista. Sen sijaan suurilla laitoksilla on usein vain kuivainta hoitavaa henkilökuntaa, jonka palkkakustannukset voidaan laskea tarkasti. Pienten laitosten lietteen kuivauksen palkkakustannukset olivat oleellisesti suuremmat kuin suurten laitosten (taulukko 3). Linkojen käytön keskimääräisiksi

palkkakustannuksiksi saatiin 67 mk/tTS ja suotonauhojen 51 mk/tTS.

Lietteen koneellisen kuivauksen käyttökustannusten summa lingoilla oli keskimäärin 176 mk/tTS ja suotonauhoilla 154 mk/tTS. Tutkittujen puhdistamoiden keskikoko oli 720 tTS/a. Linkojen käyttö olisi siis tämän tutkimuksen mukaan ollut 14 % kalliimpaa kuin suotonauhojen. Tämä hintasuhde säilynee ennallaan myös muissa kokoluokissa. On kuitenkin syytä muistaa, että yksilölliset vaihtelut em. kustannuksista saattavat olla hyvinkin suuria jäteveden käsittelystä, stabiloinnista, laitoskoosta, jätevesien laadusta, puhdistamon toiminnasta ym. syistä johtuen.

Taulukko 3. Lietteen koneellisen kuivauksen käyttökustannukset vv. 1975-1976. $\bar{X}$ = luokkakeskiarvo ja n = havaintojen lukumäärä.

Table 3. Operating costs of mechanical sludge dewatering in 1975-1976. X = class average and n = number of observations

Kustannukset *Costs*		Laitoskoko *Plant size* (tTS/a) <200	<400	<800	<1600	≥1600	Σ
Polyelektrolyytti *Polyelectrolyte*	$\bar{X}$ (mk/tTS)	67	40	54	57	46	56
	n	21	9	11	14	8	63
Vesi *Water*	$\bar{X}$ (mk/tTS)	27	10	5	6	8	14
	n	17	5	10	13	7	52
Energia *Energy*	$\bar{X}$ (mk/tTS)	38	32	19	8	7	22
	n	21	4	10	16	6	57
Huolto ja korj. *Maint. and repair*	$\bar{X}$ (mk/tTS)	12	40	6	12	8	13
	n	12	5	10	13	7	47
Palkat *Salaries*	$\bar{X}$ (mk/tTS)	135	33	33	26	18	58
	n	17	8	11	16	9	61
Yhteensä *Total*	(mk/tTS)	279	155	117	109	87	163

Lietteen stabiloinnin vaikutus kuivauksen käyttökustannuksiin ei ole niin selvä kuin laitoskoon, sillä eri stabilointimenetelmiä käytetään eri kokoluokissa. Tulokset, joiden mukaan kuivauksen käyttökustannukset stabiloimattomalla lietteellä ovat 155 mk/tTS, mädätetyllä 118 mk/tTS, lahotetulla 167 mk/tTS ja kalkkistabiloidulla 165 mk/tTS, heijastelevatkin lähinnä laitoksen koon vaikutusta.

2.5 LIETTEEN KÄSITTELYN RAKENNUSKUSTANNUKSET

Tiedustelusta ja muista lähteistä saadut rakennuskustannukset muutettiin vuotuisten rakennuskustannusindeksien avulla v. 1978 hinta-

tasoon. Koko lietteen käsittelyn rakennuskustannukset vaihtelivat välillä 300 000 - 9 730 000 mk ja niiden osuus koko puhdistamon investoinneista välillä 6,5-34 % (taulukko 4).

Taulukko 4. Koko lietteen käsittelyn investoinnit v. 1978 tasossa. $\bar{X}$ = luokkakeskiarvo ja n = havaintojen lukumäärä.
Table 4. Investment costs of all sludge treatment in 1978 price level. X = class average and n = number of observations

		Laitoskoko *Plant size* (tTS/a)						
		Ei tiedossa *Unspecified*	≤200	≤400	≤800	≤1600	>1600	Keskiarvo *Average*
Lietteen käsittelyn *Sludge treatment*								
- investoinnit *investments*	$\bar{X}$ (10^3mk)	573	495	724	991	4182	1960	1131
- osuus puhd. invest. *proportion of plant inv.*	$\bar{X}$ (%)	9	18	18	22	13	16	17
	n	2	12	4	3	3	2	26

Lietteen käsittelyn koneistojen osuus koko puhdistamon koneistoinvestoinneista vaihteli välillä 17-55 % ollen 21 laitoksella keskimäärin 36 %. Kuivainten osuus koko puhdistamon koneistoinvestoinneista oli 8-43 % ja keskiarvo 25 aitoksella 23 %.

Tiivistyksen rakennuskustannukset olivat v. 1978 hintatasossa 66 000 - 973 000 mk, stabiloinnin rakennuskustannukset vastaavasti 42 000 - 5 837 000 mk ja koneellisen kuivauksen laitteistojen hankintahinnat 148 000 - 6 333 000 mk (taulukko 5). Jälkikäsittelyn toteuttaminen ORSA-menetelmällä maksoi yhdellä laitoksella 285 000 mk ja kuormausjärjestelyt viidellä laitoksella keskimäärin 46 000 mk.

Tiivistämöiden rakennuskustannukset vaihtelivat välillä 470 - 5 900 mk/m^3 (taulukko 6). Stabiloinnin rakennuskustannukset olivat 270 - 7 300 mk/m^3 ja lietteen varastointitilan kustannukset olivat 3 100 - 6 300 mk/m^3.

Taulukko 5. Lietteen käsittelyn rakennuskustannuksia v. 1978 hintatasossa. $\bar{X}$ = luokkakeskiarvo ja n = havaintojen lukumäärä.

Table 5. Sludge treatment investment costs in 1978 price level. X = class average and n = number of observations.

Kustannukset *Costs*		Plant size: Ei tied. *Unspecified*	≤200	≤400	≤800	≤1600	>1600	Keskiarvo *Average*
Tiivistys *Thickening*	$\bar{X}$(10^3mk)	143	151	156	231	501	593	162
	n	2	10	4	3	5	2	26
Ca-stab. *Lime stab.*	$\bar{X}$(10^3mk)	42	61	66				61
	n	1	10	3				14
Kuiv.koneistot *Dewatering machinery*								
- lingot *centrifuges*	$\bar{X}$(10^3mk)	503	349	337	396	663	894	506
	n	5	2	1	4	4	1	17
- suotonauhat *belt presses*	$\bar{X}$(10^3mk)	581	253	243	405	906	687	371
	n	1	13	5	1	3	1	24
- imusuodattimet *vacuum filters*	$\bar{X}$(10^3mk)	2488						2488
	n	1						1
- kammiosuodattimet *filter presses*	$\bar{X}$(10^3mk)	5737						5737
	n	1						1

Taulukko 6. Lietteen tiivistysaltaan rakennuskustannuksia v. 1978 hintatasossa.

Table 6. Sludge thickening basin investment costs in 1978 price level.

	Laitoskoko *Plant size* (tTS/a): Ei tied. *Unspecified*	≤200	≤400	≤800	≤1600	>1600	Keskiarvo *Average*
$\bar{X}$ (10^3 mk/m^3)	0,62	1,52	2,45	1,16	0,84	0,81	1,37
n	2	10	4	3	5	2	26

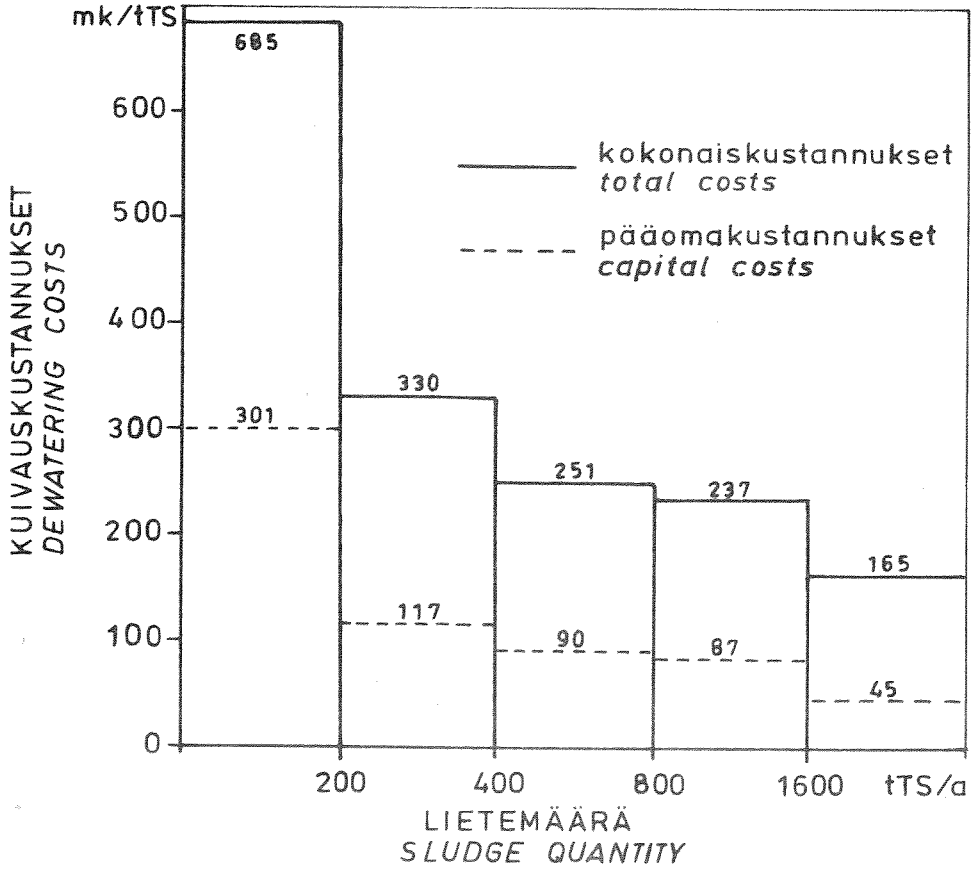
2.6 KUIVAUKSEN KUSTANNUKSET

Kuivauksen kustannukset saadaan jakamalla vuotuisten käyttö- ja pääomakustannusten summa vuotuisella lietemäärällä. Muiden käsittelymenetelmien kustannuksia ei voitu laskea havaintoaineiston vähyyden vuoksi.

Käyttökustannukset on esitetty vuosien 1975 ja 1976 tulosten keskiarvoina. Käyttökustannusten voidaan olettaa noudattavan elinkustannus-

indeksin muutoksia. Tiedustelun käyttökustannustiedot on korjattu v. 1978 tasoon käyttäen kerrointa 1,375.

Investoinnit on muutettu vuotuisiksi pääomakustannuksiksi käyttäen 6 % korkokantaa ja 10 vuoden kuoletusaikaa. Vuotuismaksu on tällöin ollut 13,59 % investoinnista. Tulokset on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Koneellisen kuivauksen kustannukset v. 1978 hintatasossa.
Fig. 3. Mechanical dewatering costs in 1978 price level.

2.7 TULOSTEN TARKASTELU

Lietteen koneellisen kuivauksen käyttökustannukset olivat suurimmat pienimmässä kokoluokassa. Erityisen suuri oli ilmoitettujen palkkakustannusten osuus. Pienten laitosten kirjaamismenettelystä saattaa kuitenkin johtua, että kuivauksen kohdalle on merkitty muitakin kuin pelkän kuivauksen kustannuksia.

Noin kolmannes kuivauksen käyttökustannuksista oli tiedustelun mukaan polyelektrolyyttikustannuksia ja kolmannes palkkakustannuksia. Kaik-

kien laitosten keskimääräiset kuivauskustannukset olivat v. 1978 hintatasossa 225 mk/tTS.

Lietteen käsittelyn osuus koko puhdistamon investoinneista oli 6,5-34 %. Lietteen käsittelyn koneistojen osuus koko puhdistamon koneinvestoinneista oli puolestaan 17-55 %. Pelkkien kuivainten osuus oli keskimäärin 23 % puhdistamon koko koneistoinvestoinneista. Lietteen käsittelyn rakennuskustannukset ovat todellisuudessa suurempia kuin tiedustelussa saadut, sillä kaikissa tapauksissa ei ilmeisesti ole otettu mukaan sen osuutta laitoksen LVI-, sähkö-, instrumentointi-, suunnittelu-, tila- eikä muista yleiskustannuksista.

Lietteen käsittely pienissä yksiköissä on sekä käyttö- että pääomakustannuksiltaan varsin kallis toimenpide. Se on kuitenkin lietteen hyväksikäytön keskeisimpiä edellytyksiä, joka tulee yhdessä muun lietteen käsittelyn kanssa yhä yleistymään. Siksi olisi välttämätöntä kaikin keinoin pyrkiä pienentämään erityisesti kuivauksen kustannuksia pienillä laitoksilla.

Tiedustelu osoitti, että lietteen hyväksikäytön yleissuunnittelua varten laadittu ohjekustannustaulukon kustannustiedot olivat riittävän tarkkoja suunnittelutyöhön. Kustannustason nousu on kuitenkin otettava huomioon niitä käytettäessä. Stabilointimenetelmien kustannuksia ei voitu tiedustelun perusteella tarkistaa.

3. L I E T E M Ä Ä R Ä T

Lietemääriä koskevia tietoja ei tiedustelussa kysytty suoraan, mutta ne laskettiin muiden tiedustelun tietojen perusteella. Puhdistamoiden todellisen virtaaman ja asukasvastineluvun perusteella laskettiin lietemäärät taulukossa 7 esitettyjen lukujen perusteella. Taulukko on muodostettu kirjallisuustietojen ja omien kokemusten perusteella. Lietemäärät ovat pienempiä kuin suunnittelijoiden tavallisesti käyttämät. Taulukkoa laadittaessa on oletettu mädätyksen vähentävän lietemäärää 25 %, lahotuksen 20 % ja kalkkistabiloinnin lisäävän sitä 20 %.

Taulukko 7. Oletetut lietemäärät eri puhdistamotyypeillä.
Table 7. Assumed sludge quantities at different types of treatment plants.

Puhdistamotyyppi *Type of treatment plant*		Stabiloimaton *Unstabilized*		Mädätetty *Anaer. stab.*		Lahotettu *Aer. stab.*		Ca-stab. *Lime stab.*	
		(g/m^3)	(gTS/AVL/d)	(g/m^3)	(gTS/AVL/d)	(g/m^3)	(gTS/AVL/d)	(g/m^3)	(gTS/AVL/d)
K, MK	(Ca)	540	220						
K, MK	(Ca+Fe)	490	200						
K, MK	(AL)	295	120	220	90	235	96	355	145
B		220	90	165	65	175	70	265	110
BK	(Fe)	245	100	185	75	195	80	295	120
K+B	(Ca+Fe)	365	230	425	170	450	185	680	275
B+K	(Ca+Fe)	370	150	275	110	295	120	440	180
B+K	(AL)	270	110	205	80	215	90	325	130
M		145	60	110	45	120	50	175	70

Puhdistamoiden lietemäärätiedot kerättiin vesihallituksen puhdistamokorteista. Lisäksi lietemäärät laskettiin konetietojen (kuivainten käyttökapasiteetti ja käyttötuntimäärä) perusteella ja polyelektrolyyttitietojen (polyelektrolyyttien vuosikulutus ja ilmoitettu polyelektrolyyttiannostus) avulla. Tällä tavoin saatiin kultakin inventointiin kuuluvalta puhdistamolta yhteensä enintään viisi arviota vuotuisista lietemääristä. Nämä arviot vaihtelivat varsinkin pienillä puhdistamoilla huomattavan paljon. Arvioiden perusteella muodostettiin päättelemällä todennäköisimmät omat arviot kunkin puhdistamon lietemääristä.

ATK-käsittelyssä puhdistamot käsiteltiin tyypeittäin ja kokoluokittain. Vuosien 1975 ja 1976 lietemäärät käsiteltiin itsenäisinä lähtötietoina. Koska stabiloinnin vaikutus lisäsi muuttujien määrää tarpeettomasti, se poistettiin jakamalla köyttötiedoista saadut lietemäärät käytännön läheisillä luvuilla 0,8 tai 0,85 sen mukaan, oliko laitoksella käytössä mädätys vai lahotus. Kalkkistabiloinnin vaikutus eliminoitiin vähentämällä lietemäärästä kalkin määrä. Kalkkia käytettiin 12 laitoksella 10-100 % lietteen kuiva-ainemäärästä. Näin saadut raakalietemäärät muutettiin asukasvastineluvun avulla yksikköön g TS/AVL/d. Puhdistamot jaettiin aiemmin mainittuihin viiteen kokoluokkaan lietemäärien perusteella.

Tulokset on esitetty taulukossa 8. Tulokset on esitetty puhdistusmenetelmien keskiarvoina, koska lietemäärät eivät eri kokoluokissa poikenneet toisistaan systemaattisesti. Tulosten suurta hajontaa kuvaa se, että pienin yksittäinen laskettu lietemäärä oli 11 gTS/AVL/d ja suurin 1304 gTS/AVL/d.

Taulukko 8. Raakalietemäärät asukasvastineyksikköä kohden eri lähtötietojen perusteella. $\bar{X}$ = keskiarvo ja n = havaintojen lukumäärä.

Table 8. Quantities of unstabilized sludge of a person equivalent according to various sources. X = average and n = number of observations

Puhdistamotyyppi *Type of treatment plant*		Lietemäärät *Sludge quantities* (gTS/AVL/d) *(gTS/PE/d)*			
		Puhd.kortti *Plant file*	Konetiedot *Machine inf.*	Polyel.tiedot *Polyel. inf.*	Oma arvio *Own estimate*
K (Ca)	$\bar{X}$	183	421	220	199
	n	10	8	10	16
K (Ca+Fe)	$\bar{X}$	202	156	153	204
	n	3	3	3	7
K (Al)	$\bar{X}$	82	112	136	107
	n	3	1	2	4
MK (Ca)	$\bar{X}$				202
	n				2
MK (Ca+Fe)	$\bar{X}$	156	179	159	165
	n	4	4	4	7
MK (Al)	$\bar{X}$	90	255	234	230
	n	1	3	3	5
B	$\bar{X}$	56	151	64	61
	n	2	7	7	8
BK	$\bar{X}$	103	147	114	100
	n	39	24	28	57
K+B (Ca+Fe)	$\bar{X}$	201	167	178	177
	n	3	2	2	3
B+K (Ca+Fe)	$\bar{X}$	50	71	93	59
	n	2	1	2	2
B+K (Al)	$\bar{X}$	112	95	91	94
	n	5	6	8	8
M	$\bar{X}$		48	28	38
	n		2	2	2

Lähinnä oikeina lietemäärälukuina voidaan pitää sarakkeessa "oma arvio" esitettyjä, sikäli kun niitä laitosten lukumäärän ja toiminnan huomioon ottaen voidaan pitää riittävän edustavina. Kemialliset selkeyttämöt ja suorasaostuslaitokset tuottavat mainittujen arvioiden mukaan lietettä kemikalista riippuen 110-230 gTS/AVL/d.

Biologisten puhdistamoiden lietetuotanto jää selvästi alle kirjallisuudessa esitettyjen lietemäärien. Rinnakkaissaostus vastaa hyvin odotuksia. Esi- ja jälkisaostuslaitosten lietemäärät ovat niinikään odo-

tettua pienempiä, mutta myös tarkasteltavien puhdistamoiden lukumäärä on pieni. Ero esi- ja jälkisaostuslaitosten välillä on odotettua suurempi, mutta havainnon luotettavuutta pienentää tulosten pieni lukumäärä.

4. KONEELLISEN KUIVAUKSEN KÄYTTÖKOKEMUKSET

Kunnostuksen ja koneellisen kuivauksen käyttökokemuksia tiedusteltaessa kysyttiin seuraavia asioita:
- polyelektrolyyttien valinta ja kokeileminen
- polyelektrolyytin syöttöjärjestelyt
- kuivaimien säädöt ja niiden perustelut
- kuivaimien käyttämisestä saadut kokemukset ja mielipiteet ja
- kuivaimien takuuarvot ja vastaavat käyttöarvot.

4.1 KUNNOSTUS

4.11 Polyelektrolyyttien valinta

Lietteen kunnostusta laboratoriomitassa oli tutkinut 72 % vastanneista. Kokeiden suorittajana oli ollut
- laitos itse (55 %)
- suunnittelija (20 %)
- polyelektrolyytin myyjä (69 %)
- kuivaimen myyjä (41 %) ja
- urakoitsija (8 %).

Useimmiten oli tutkijoita siis ollut enemmän kuin yksi.

Laboratoriotutkimukset olivat keskittyneet mittalasissa tapahtuvan laskeutumisen seuraamiseen:
- 70 % käytti laskeutuskoetta
- 35 % " pelkkää flokinmuodostuksen tarkkailua ja
- 17 % " jonkinlaista suodatuskoetta tai CST-laitetta.

80 % vastanneista ilmoitti käyttäneensä laitoksen kuivainta täysi-

mittaisissa koeajoissa polyelektrolyyttien vertailussa. Kokeista olivat vastanneet

- laitos itse (69 %)
- suunnittelija (17 %)
- polyelektrolyytin myyjä (14 %)
- kuivaimen myyjä (69 %) ja
- urakoitsija (23 %).

Noin puolet laitoksista oli kokeillut polyelektrolyytin lisäämistä lietteeseen monesta eri kohdasta lietteen tuloputkessa ja flokkausyksikössä. 40 %:lla laitoksista oli kuitenkin käytössä vain yksi kiinteä syöttökohta. Polyelektrolyyttiliuoksen syöttöväkevyys oli keskimäärin 0,11 % ja keskihajonta 0,06 % vastanneilla 67 laitoksella. Syöttöväkevyyksien pienin ilmoitettu arvo oli 0,01 % ja suurin 0,35 %. Polyelektrolyyttien säätö ilmoitettiin jatkuvaksi 77 %:lla laitoksista. Vähiten säätötarvetta näytti olevan suurimmilla laitoksilla, mikä johtunee lietteen tasalaatuisuudesta.

4.12 Polyelektrolyyttien kulutus

Polyelektrolyyttien kulutus saatiin sekä tiedustelun käyttötuloksia koskevista tiedoista suoraan että vuotuisen polyelektrolyyttien käytön ja lietemääräarvion perusteella laskien. Edellisen vaihtelurajat olivat 1-49 kg/tTS ja jälkimmäisen vuosina 1975 ja 1976 0,83-7,25 kg/tTS. Tulokset puhdistamotyypeittäin on esitetty taulukossa 9. Tulokset laskettiin myös kokoluokittain, mutta vaihtelut eri kokoluokkien sisällä olivat havaintoaineiston pienuudesta johtuen epäsäännöllisiä, mistä johtuen puhdistamoiden kokoluokitteluja ei ole tässä käytetty.

Kalkki-rautasaostuksen ja alumiinisaostuksen lietteet näyttävät vaativan eniten polyelektrolyyttejä. Mekaanisen puhdistuksen ja kalkkisaostuksen lietteet on tunnetusti helppo kunnostaa, mikä näkyy myös tuloksista. Biologisen käsittelyn täydentäminen rinnakkaissaostukseksi ei vaikuta polyelektrolyyttien tarpeeseen. Lingot ovat kaikissa tapauksissa kuluttaneet enemmän polyelektrolyyttejä kuin suotonauhat.

Linkojen ja suotonauhojen välinen ero polyelektrolyyttien kulutuksessa näkyy myös ryhmiteltäessä kulutusluvut stabilointimenetelmän mukaan (taulukko 10). Lingoilla oli lisäksi vaikein kuivata lahotettua lietettä, kun taas suotonauhalla saatiin kaikilla lietetyypeillä keskimäärin yhtä suuri polyelektrolyytin kulutus.

Taulukko 9. Polyelektrolyytin kulutus lietteen kuivauksessa eri puhdistamotyypeillä vv. 1975-1976. $\bar{X}$ = keskiarvo ja n = havaintojen lukumäärä.

Table 9. Polyelectrolyte consumption in sludge dewatering at different types of treatment plants in 1975-1976. $\bar{X}$ = average and n = number of observations

Polyel. kulutus *Polyel. consumption*	Puhdistamotyyppi *Type of treatment plant*										
	K (Ca)	K (Ca+Fe)	K (AL)	MK (Ca+Fe)	MK (AL)	B	BK (Fe)	K+B (Ca+Fe)	B+K (Ca+Fe)	B+K (AL)	M
Käyttötiedot: *Operational inf.:*											
$\bar{X}$ (kg/tTS)	1,6	3,0	1,3	3,4	5,2	3,1	2,5			3,8	1,8
n	6	1	1	2	2	3	14			5	1
Vuosiraportit: *Annual reports:*											
Lingot $\bar{X}$ (kg/tTS)	2,3	1,7	1,3	3,3	4,5	3,1	4,0	5,1		3,9	1,4
Centrifuges n	5	3	2	3	3	3	9	2		5	2
Suotonauhat $\bar{X}$(kg/tTS)	1,3					2,4	2,3		2,6	2,7	
Belt presses n	5					2	18		3	3	

Taulukko 10. Polyelektrolyytin kulutus eri tavoin stabiloitujen lietteiden kuivauksessa. $\bar{X}$ = keskiarvo ja n = havaintojen lukumäärä.

Table 10. Consumption of polyelectrolytes for variously stabilized sludges. $\bar{X}$ = average and n = number of observations.

Kuivain *Dewatering apparatus*		Ei stabilointia *No stabilization*	Stabilointi *Stabilization*		
			Mädätys *Anaer. stab.*	Lahotus *Aer. stab.*	Ca-stab. *Lime stab.*
Linko	$\bar{X}$ (kg/tTS)	3,1	3,2	4,6	2,3
Centrifuge	n	19	3	8	3
Suotonauha	$\bar{X}$ (kg/tTS)	2,1	2,4	2,6	2,2
Belt press	n	13	2	4	12

Taulukossa 11 on esitetty eri kokoluokkien polyelektrolyyttikulutus ilman tyyppiluokittelua. <400 tTS/a olevien puhdistamoiden muita pienempi lukuarvo johtuu havaintojen vähäisestä määrästä, luokkaan sattuneista monista suorasaostuslaitoksista ja tutkimuksen ainoasta mekaanisesta puhdistamosta.

Taulukko 11. Polyelektrolyyttien kulutus eri kokoisilla puhdistamoilla. $\bar{X}$ = luokkakeskiarvo ja n = havaintojen lukumäärä.
Table 11. Consumption of polyelectrolytes at different plant size classes. $\bar{X}$ = class average and n = number of observations

	Puhdistamokoko *Plant size*					
	<200 (tTS/a)	<400 (tTS/a)	<800 (tTS/a)	<1600 (tTS/a)	>1600 (tTS/a)	Keskiarvo *Average*
$\bar{X}$ (kg/tTS)	3,2	1,9	2,6	3,0	2,4	2,8
n	25	10	11	14	8	68

Stabilointikemikaalina käytettiin kalkkia 22 havainnon mukaan 54 % lietteen kuiva-ainemäärästä.

4.2 KONEELLINEN KUIVAUS

4.21 Kuivainten käyttö

Koneellisen kuivauksen tavoitteista pidettiin tiedustelun mukaan kokoluokasta riippumatta suunnilleen yhtä tärkeinä korkeaa kuiva-ainepitoisuutta, pientä polyelektrolyytin kulutusta ja puhdasta rejektiä. Kaikkein suurimmilla puhdistamoilla näytti kuiva-ainepitoisuuden nostaminen olevan hiukan muita tärkeämpää. Muita ilmoitettuja tavoitteita pidettiin vähemmän tärkeinä, joskin kaikki saivat hajanaista kannatusta.

Tarkasteltaessa tilannetta konetyypeittäin oli tilanne toinen. Linkojen käyttäjille oli puhdas rejekti tärkein, toiseksi tärkein oli pieni polyelektrolyytin kulutus, sitten seurasivat hyvä kuivaustulos, korkea erotusaste ja muut syyt. Suotonauhojen käyttäjille oli tärkeintä pieni kunnostuskemikaalin kulutus ja toiseksi tärkeintä kuivaustulos. Rejekti oli vasta kolmannella sijalla, sillä sitä ei ilmeisesti koeta ongelmaksi suotonauhoilla. Muilla konetyypeillä, joita on varsin vähän käytössä ja jotka perustuvat lietteen suodatukseen epäorgaanisen kunnostuksen jälkeen, olivat tärkeimpinä kuivaustulos ja lietekakun hyvä irtoavuus viiralta.

Koneellisessa kuivauksessa ei läheskään aina pyritä mahdollisimman suureen kuiva-ainepitoisuuteen. Tämä johtuu useimmiten pyrkimyksestä vähentää polyelektrolyytin kulutusta. Linkoja käyttävillä laitoksilla oli rejektin laadun parantaminen toiseksi tärkein syy. Toisella sijalla

suotonauhan käyttäjillä ja kolmannella sijalla linkojen käyttäjillä oli kuormauksen vaikeutuminen: liian kuiva liete ei leviä itsestään kuljetustilaan vaan sitä on lapioitava. Suotonauhojen rejektin huononeminen ja kapasiteetin laskeminen sekä linkojen säädön hankaluus olivat seuraavina perusteluina. Myös liian kuivan lietteen levitystä pidettiin eräissä tapauksissa haittana. Laitoksen koko ei vaikuttanut eri tekijöiden tärkeysjärjestykseen.

Linkojen toimintaa säädettiin tavallisesti harvemmin kuin päivittäin. Toisaalta myös jatkuva säätäminen oli yleistä. Suotonauhoja sen sijaan säädettiin yleensä päivittäin, mutta myös jatkuvaa tai harvemmin tapahtuvaa säätämistä esiintyi. Kahdella laitoksella ei linkoja eikä yhdellä laitoksella suotonauhaa säädetty lainkaan!

Laitoksilta kysyttiin myös mielipiteitä kuivaimen toimittajan työskentelystä ja arvioita kuivaimen sopivuudesta ja säätömahdollisuuksista. Arvosanat vaihtelivat yhdestä (huono) viiteen (kiitettävä). Tulokset on esitetty kuvassa 3.

Kuivainten käytön koulutus vaihteli selvästi laitteiden toimittajien kesken. Parhaat arvosanat saivat kotimaiset laitevalmistajat. Koulutus on monien kuivainten osalta ollut riittämätöntä, sillä arvosanojen keskiarvo oli pienempi kuin muilla arvostelluilla tekijöillä. Kuivaimien käytön neuvonta noudattelee koulutuksen linjoja. Neuvontatyössä ovat kuivainten myyjät kuitenkin olleet keskimäärin aktiivisempia kuin koulutuksen järjestämisessä.

Kuivaimia on huollettu keskimäärin varsin hyvin. Huonoimman arvosanan saivat käytöstä pois jäävät kuivaimet. Käsitys kuivainten sopivuudesta kyseisten laitosten lietteelle oli yleensä erittäin hyvä. Ainoastaan Upo lingot ja Edwards & Jones kammiosuodattimet olivat tiedustelun aikoihin toimineet huonosti. Kuivaimien säätömahdollisuuksia pidettiin keskimäärin varsin hyvinä. Erityisen hyväksi tässä suhteessa arvioitiin Slamex suotonauhat.

Puhdistamoiden koko ei vaikuttanut kuivainten arviointiin muiden kuin säätömahdollisuuksien osalta. Pienissä laitoksissa pidettiin säätömahdollisuuksia hyvinä useammin kuin suurissa.

KOULUTUS *TRAINING*	n	$\bar{X}$
- Alfa-Laval	19	2,7
- Humboldt-Bird	9	3,2
- Krüger	8	2,4
- UPO	3	3,7
- Passavant	3	1
- Slamex (Klein)	24	3,5
- Vesi-Seppo	2	4
- Enso-Eimcobelt	2	2,5
- Tolu	1	1
- Edwards & Jones	1	3
- Yhteensä *Total*	72	3

SOPIVUUS *FITNESS*	n	$\bar{X}$
- Alfa-Laval	20	4
- Humboldt-Bird	9	4,2
- Krüger	8	4
- UPO	3	2
- Passavant	3	3,7
- Slamex (Klein)	23	4
- Vesi-Seppo	2	4
- Enso-Eimcobelt	2	4
- Koml.Sand.	1	3
- Tolu	1	3
- Edwards & Jones	1	1
- Yhteensä *Total*	73	3,9

NEUVONTA *ADVISORY SERVICE*	n	$\bar{X}$
- Alfa-Laval	19	3,2
- Humboldt-Bird	9	3,4
- Krüger	8	2,5
- UPO	3	3,7
- Passavant	3	1,3
- Slamex (Klein)	23	3,8
- Vesi-Seppo	2	4
- Enso-Eimcobelt	2	2,4
- Tolu	1	1
- Edwards & Jones	1	3
- Yhteensä *Total*	71	3,3

SÄÄTÖMAHD. *REGULATING POSSIBILITIES*	n	$\bar{X}$
- Alfa-Laval	20	3,6
- Humboldt-Bird	9	3,3
- Krüger	8	3,6
- UPO	3	3
- Passavant	3	3
- Slamex (Klein)	23	4,5
- Vesi-Seppo	2	2,5
- Enso-Eimcobelt	2	3,5
- Koml.Sand.	1	4
- Tolu	1	1
- Yhteensä *Total*	72	3,7

HUOLTO *MAINTENANCE*	n	$\bar{X}$
- Alfa-Laval	16	3,6
- Humboldt-Bird	9	3,6
- Krüger	6	2,7
- UPO	3	3,7
- Passavant	3	2,7
- Slamex (Klein)	22	3,9
- Vesi-Seppo	2	3,5
- Enso-Eimcobelt	1	1
- Tolu	1	1
- Edwards & Jones	1	3
- Yhteensä *Total*	64	3,5

Kuva 3. Kuivainten arvostelun tulokset. $\bar{X}$ = keskiarvo ja n = vastausten lukumäärä. Arvosana 1 = huono ja 5 = kiitettävä.

Fig. 3. Results of dewatering equipment criticism. $\bar{X}$ = average and n = number of answers. 1 = poor and 5 = excellent.

4.22 Kuivainten toiminta

Taulukkoon 12 on koottu tietoja eri kuivaimilla kuivattujen lietteiden keskimääräisistä kuiva-ainepitoisuuksista. Pienin ilmoitettu arvo on 10 % TS. Lingottujen lietteiden kuiva-ainepitoisuudet olivat 10-29 % ja suotonauhojen 12-23 %. Neljällä laitoksella kuivasivat imusuodattimet lietteen 18-26 % kuiva-ainepitoisuuteen ja kahdella kammiosuodattimet 31-49 % kuiva-ainepitoisuuteen. Rinnakkaissaostus- ja jälkisaostuslaitosten lietteillä saavutettiin suotonauhoja käyttäen hiukan suurempia kuiva-ainepitoisuuksia kuin lingoilla. Kalkkia sisältävät kemiallisen puhdistuksen lietteet saatiin kuivaimilta kuivempina kuin biologiset tai biologis-kemialliset lietteet.

Taulukko 12. Kuivattujen lietteiden kuiva-ainepitoisuuksia. $\bar{X}$ = keskiarvo ja n = havaintojen lukumäärä.
Table 12. Total solids concentrations of dewatered sludges. $\bar{X}$ = average and n = number of observations.

Puhdistamotyyppi *Type of treatment plant*			Lingot *Centrifuges*				Suotonauhat *Belt presses*	
			Alfa-Laval	Humb.-Bird	Krüger	UPO	Passavant	Slamex (Klein)
K	(Ca)	$\bar{X}$(TS%)	26,3				20	22
		n	3				1	4
K	(Ca+Fe)	$\bar{X}$(TS%)	22,3		25			
		n	3		1			
B		$\bar{X}$(TS%)	26	18				14
		n	1	1				1
BK		$\bar{X}$(TS%)	17,7	15	17	13	12	18
		n	6	2	2	1	2	3
B+K	(AL)	$\bar{X}$(TS%)	14,7					19,5
		n	3					2

Lietteen stabilointimenetelmän vaikutus kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuuteen on esitetty taulukossa 13. Stabiloimattomat lietteet kuivattiin lingoilla ja suotonauhoilla keskimäärin noin 20 % kuiva-ainepitoisuuteen samoin kuin mädätetyt lietteet lingoilla ja kalkkistabiloidut suotonauhoilla. Lahotetut lietteet olivat kummallakin konetyypillä vaikeimmin kuvattavissa.

Taulukko 13. Stabilointimenetelmän vaikutus lietteen kuiva-ainepitoisuuteen. $\bar{X}$ = keskiarvo ja n = havaintojen lukumäärä
Table 13. Effect of stabilization method on sludge total solids concentration. $\bar{X}$ = average and n = number of observations.

Kuivain *Dewatering apparatus*		Stabilointimenetelmä *Stabilization method*			
		Ei stabilointia *None*	Mädätys *Anaer.stab.*	Lahotus *Aer.stab.*	Ca-stab. *Lime-stab.*
Linko	$\bar{X}$ (TS%)	21,1	20,2	16,4	17
Centrifuge	n	17	5	5	2
Suotonauha	$\bar{X}$ (TS%)	19,5	14,5	12	19,9
Belt press	n	10	2	1	10

Polyelektrolyyttien kulutusta on tarkasteltu aikaisemmin.

Lieteveden eli rejektin kiintoainepitoisuus (SS) vaihteli 28 laitoksella 18-7000 mg/l. Keskiarvo oli 1460 mg/l. Tavallisimpia arvoja olivat 1000-1200 mg/l. Erotusaste oli 19 laitoksella 80-99 %, joiden keskiarvo oli 95,7 %.

Kuivainten valmistajien antamat takuuarvot laitteiden toiminnalle saattavat myynnin edistämissyistä olla tavoitteellisia ja sellaisenaan epärealistisia laitoksen käyttäjän kannalta, koska ne voidaan saavuttaa vain tarkoin valvotuissa olosuhteissa. Taulukossa 14 on vertailtu kuivauksen käytännön tuloksia vastaaviin takuuarvoihin eri kuivaimilla. Suhdeluvun pitäisi kuiva-ainepitoisuuden kohdalla olla >1 ja polyelektrolyytin kulutuksen sekä rejektin kiintoainepitoisuuden kohdalla <1, jotta kuivain toimisi takuuarvoja vastaavalla tavalla.

Mikäli pidetään ±10 % poikkeamia normaaleina, voidaan todeta linkojen yleensä ja Vesi-Sepon VS suotonauhan sekä Edwards & Jones kammiosuodattimen toimineen hyvin tarkasteltaessa kuivaustulosta. Muiden toiminta jäi enemmän tai vähemmän puutteelliseksi. Polyelektrolyyttien kulutus oli vastannut odotuksia vain Krügerin lingolla sekä Slamex ja VS suotonauhoilla. Rejekti oli riittävän puhdasta vain Passavant suotonauhoilla ja Alfa-Laval lingoilla. Kuivainten kapasiteetti (m^3/h tai kgTS/h) on jätetty pois taulukosta, sillä kaikki kuivaimet Upo linkoa ja Passavant suotonauhoja lukuunottamatta toimivat lähellä nimelliskapasiteettiaan.

Taulukko 14. Eri kuivainten käyttöarvo/takuuarvo-suhteet. $\bar{X}$ = keskiarvo ja n = havaintojen lukumäärä.

Table 14. Relations of operational and guaranteed parameters for various dewatering equipment. X=average and n=number of observations.

Kuivain *Dewatering apparatus*		TS % *TS*	Pol. kulutus *Polyel. consumption*	Rej. SS *SS of sludge water*
Alfa-Laval	$\bar{X}$	1,02	1,31	1,07
	n	14	7	2
Humboldt-Bird	$\bar{X}$	1,05	1,2	1,73
	n	4	4	3
Krüger	$\bar{X}$	1,10	0.87	1,2
	n	7	4	2
Upo	$\bar{X}$	0,72	1,75	
	n	1	1	
Passavant	$\bar{X}$	0,64	1,82	1
	n	3	2	2
Slamex (Klein)	$\bar{X}$	0,89	1,06	1,69
	n	16	14	5
Vesi-Seppo	$\bar{X}$	1,06	0,92	
	n	1	1	
Enso-Eimcobelt	$\bar{X}$	0,88		
	n	1		
Koml.-Sanderson	$\bar{X}$	0,72		
	n	1		
Edwards & Jones	$\bar{X}$	1,06		
	n	2		

Jäteveden puhdistusmenetelmä on tärkein lietteen kuivattavuuteen ja kuivauksen toimintaan vaikuttava tekijä. Taskasteltaessa taulukkoa vastaavia suhdelukuja puhdistamotyypeittäin todettiin, että kuivainten tilavuuskapasiteetti ei aivan vastannut takuuarvoja, vaikka kuiva-ainekapasiteetti sen keskimäärin ylittikin. Tämä viittaa siihen, että kuivaimille tuleva liete oli vähän kuivempaa kuin takuuarvot edellyttivät. Kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus jäi 50 puhdistamolla keskimäärin hiukan alle takuuarvojen, mikä johtuu rinnakkaissaostuslietteiden 11 % ja jälkisaostuslietteiden 14 % odotettua huonommasta kuivumisesta. Pelkkien kemiallisten laitosten lietteet voitiin yleensä kuivata takuuarvojen edellyttämällä tavalla. Polyelektrolyyttien kulutuksessa toistuu sama kaava, jälkisaostuslietteet olivat tarvinneet 68 %, biologiset 40 % ja rinnakkaissaostuslietteet 16 %

enemmän kemikaaleja kuin takuuarvojen perusteella voitiin odottaa. Polyelektrolyyttien kulutus kaikilla 33 laitoksella ylittikin keskimäärin 18 % odotusarvon. Rejektin laatu poikkesi muita kuivauksen parametreja enemmän takuuarvoista. 14 puhdistamolla oli rejekti keskimäärin 44 % odotettua huonompaa. Kaikkein huonoimmin toimi jälkisaostuslietteen kuivaus, jonka rejektin SS oli kahdella laitoksella lähes kolme kertaa takuuarvoja likaisempaa.

Takuuarvojen liiallinen optimismi ja poikkeaminen käyttökelpoisista kuivauksen parametreista oli johtanut siihen, että takuuarvot olivat v. 1976 lopussa jäneet saavuttamatta joka kolmannella laitoksella (taulukko 15). Syynä vaikeuksiin olivat tavallisesti olleet biologiset ja biologiskemialliset lietteet, joiden odotettua vaikeampi kuivaaminen oli laskenut kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuutta, lisännyt polyelektrolyyttien kulutusta ja tuottanut huonolaatuisen rejektin. Ihmetystä herättää myös se, että kuivaimia oli ostettu ilman takuuarvoja kuudessa tapauksessa.

Taulukko 15. Takuuarvojen saavuttaminen v. 1976 lopussa.
Table 15. Guarantees reached in the end of 1976.

Kuivain *Dewatering apparatus*	Takuun täyttyminen (kpl) *Number of reached guarantees*				Takuuarvot puuttuvat *No guaranteed values*
	Sop.muk. *As agreed*	Myöhemmin *Later*	Ei saav. *Not reached*	Ajot puuttuvat *Tests missing*	
Alfa-laval	10	2	2	1	0
Humboldt-Bird	3	1	2	2	3
Krüger	3	0	1	0	0
Upo	0	0	3	0	0
Passavant	0	0	2	0	0
Slamex (Klein)	12	1	7	1	1
Vesi-Seppo	1	0	0	0	0
Enso-Eimcobelt	2	0	0	0	0
Tolu	0	0	1	0	0
Edwards & Jones	0	1	1	0	0
Yhteensä	31	5	19	4	4
Total (%)	49	8	30	6	6

4.3 TULOSTEN TARKASTELU

Lietteen kunnostuksen ja kuivauksen asianmukainen ja taloudellinen hoitaminen ei ole helppoa, sillä muuttujia on paljon ja ne vaikuttavat toi-

siinsa. Osa muuttujista on sellaisia, että niitä on vaikea hallita. Vaikka kunnostusta ja kuivausta on puhdistamoilla tiedustelun mukaan tutkittu suhteellisen paljon, ei riittävän hyviin tuloksiin ole kaikkialla päästy.

Koneellisen kuivauksen keskeisimpinä tavoitteina puhdistamoilla pidettiin korkeaa kuiva-ainepitoisuutta, pientä polyelektrolyyttien kulutusta ja puhdasta rejektiä. Kuivaustuloksesta jouduttiin kuitenkin usein tinkimään, jotta polyelektrolyyttien kulutus säilyisi kohtuullisena, lietteen kuormaus ei vaikeutuisi ja ettei rejekti huononisi liikaa. Myös linkojen säätöä ja lietteen levityksen hankaloitumista pidettiin eräinä syinä. Yleensä kuivaimien säätöihin kiinnitettiin huomiota riittävän usein.

Kuivaimien käytön koulutus, neuvonta ja huolto heijastelevat kuivaimien toimittajan onnistumista tehtävässään. Kotimaiset laitevalmistajat menestyivät hyvin tässä vertailussa. Koulutuksessa näytti olevan enemmän toivomisen varaa kuin muissa tiedustelun kohdissa. Kuivainten sopivuutta pidettiin varsin hyvänä lukuunottamatta niitä tapauksia, joissa kuivain toimi huonosti. Kuivainten säätömahdollisuuksia pidettiin yleensä myös varsin hyvinä.

Polyelektrolyyttien kulutus vaihtelee varsin paljon, vaikka koko aineiston keskimääräinen luku (2,8 kg/tTS) onkin kohtuullinen. Vähimmällä polyelektrolyyttien kulutuksella olivat selvinneet pelkän mekaanisen käsittelyn tai kalkkisaostuksen lietteet. Suurimmat polyelektrolyyttien kulutusluvut tavattiin alumiinisaostuksen lietteistä ja joistakin kalkki-rautasaostuksen lietteistä. Stabilointi vaikutti polyelektrolyyttien kulutukseen siten, että paras tulos lingoilla saatiin kalkkistabiloiduille lietteille ja huonoin lahotetuille lietteille. Suotonauhoilla ei stabilointimenetelmä vaikuttanut mainittavasti polyelektrolyyttien kulutukseen. Kalkin kulutus stabilointikemikaalina oli 54 % kuiva-ainemäärästä.

Kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus kalkki-ja kalkkirautalietteillä oli yli 20 %. Biologista lietettä sisältävissä sekalietteissä kuivaustulos jäi 10...20 %:iin. Keskimäärin n. 20 %:iin päästiin kuivaamalla raakaa (stabiloimatonta) lietettä millä kuivaimella hyvänsä sekä kuivaamalla mädätettyä lietettä lingoilla ja kalkkistabiloitua lietettä suotonauhalla. Huonoin kuivaustulos saatiin lahotetulla lietteellä

kummallakin kuivaintyypillä. Keskimääräinen erotusaste kaikilla kuivaimilla oli 96 % ja rejektin SS 1000-1200 mg/l.

Kuivainten käyttötuloksen vertailu takuuarvoihin osoittaa, kuinka hyvin laitteiden toimittajat ovat onnistuneet arvioidessaan oman kuivaimensa toimintaa käytännössä. Ongelma oli esiintynyt keskimäärin seuraavasti:

- Alfa-Laval linkojen polyelektrolyytin kulutus oli suuri
- Humboldt-Bird lingoilla oli polyelektrolyytin kulutus suurehko ja rejekti huono
- Krüger linkojen rejekti oli huonohko
- Upo lingoilla oli monia vaikeuksia ainoalla vastanneella laitoksella
- Slamex suotonauhoilla oli kuivaustulos huonohko ja rejekti huono
- Passavant suotonauhojen kuivaustulos oli huono ja polyelektrolyytin kulutus suuri
- Vesi-Sepon suotonauha toimi hyvin ainoalla vastanneella laitoksella
- muut konetyypit toimivat odotetusti tai sitä huonommin.

Takuuarvoihin päästiin yleisesti pelkillä kemiallisilla laitoksilla. Biologista lietettä sisältäviä sekalietettä käsittelevillä kuivaimilla jäätiin hyvin usein alle takuuarvojen. Huono rejekti oli yleisin takuuarvoista poikkeamisen syy. Joka kolmas kuivain ei ollut täyttänyt takuuarvoja kyselyn hetkellä, mikä osoittaa, että kunnostuksen ja kuivauksen tekniikkaa ja mahdollisuuksia ei vielä hallita riittävästi.

5. LIETTEEN KONEELLISEN KUIVAUKSEN OPTIMOINTI

Lietteen käsittelyn tarkoitus on saattaa liete sellaiseen muotoon, että lietteen lopullinen sijoitus tapahtuu mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti, taloudellisesti ja haitattomasti. Jokaisen lietteen käsittelytoimenpiteen tulee omalta osaltaan ja muut prosessiyksiköt huomioon ottaen pyrkiä tähän tavoitteeseen. Prosessiyksikön toiminnan sisäinen optimointi saattaa kuitenkin olla ristiriidassa toisen prosessiyksikön optimoinnin tai yleisten tavoitteiden kanssa.

Lietteen kuivauksen yleisistä tavoitteista voidaan todeta seuraavaa:

- mitä kuivempaa kuivattu liete on, sitä
    - helpompi se on levittää tavallisilla maataloustyökoneilla
    - vähemmän esiintyy haju- ja huuhtoutumahaittoja

  - vähemmän on kuljetettavaa lietettä n. 30 % kuiva-ainepitoisuuteen asti
  - paremmin se sopii kompostoitavaksi ja varastoitavaksi
  - huolellisemmin on kuivainta käytettävä ja sitä kalliimmaksi kuivaus helposti tulee kaikkien kustannusten noustessa
- mitä märempää kuivattu liete on, sitä
  - helpompi se on levittää varsinaisilla lietteen levittimillä tai suoraan kippilevityksenä
  - enemmän on typpeä lietteessä
  - paremmin liete täyttää itsestään kuljetustilan eikä kuormaus siten vaadi erityisjärjestelyitä
  - halvemmaksi ja helpommaksi tulee kuivaus.

Kuivauksen optimaalinen tulos riipuu siis aina siitä, mitä tekijöitä painotetaan eniten.

Lietteen koneellisessa kuivauksessa optimoitavia tekijöitä ovat
- kemikaali-, energia- ja vesikulut
- miestyön tarve
- huollon ja korjaustyön tarve
- erotusaste ja lieteveden aiheuttama kuormitus laitoksella
- kuljetus- ja sijoituskustannukset.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voidaanko laboratoriossa tehtyjen tutkimusten avulla löytää taloudellisin lietteen kunnostusmenetelmä ja voidaanko tätä tietoa soveltaa kunnostuksen ja kuivauksen optimoinnissa laitosmitassa. Tavoitteeksi tuli lähinnä polyelektrolyyttien säästäminen.

5.1 KUNNOSTUKSEN JA KUIVAUKSEN PARAMETRIT

Tärkein kunnostukseen ja kuivaukseen vaikuttava tekijä on lietteen laatu. Se riippuu:
- viemäröintiin liittyneestä teollisuudesta
- viemäröintijärjestelmästä
- jäteveden käsittely-yksiköiden toiminnasta
- saostuskemikalien laadusta ja määrästä
- lietteen käsittely-yksiköiden toiminnasta
- lietteen iästä.

Kunnostuksessa voidaan muuttaa seuraavia parametreja:
- polyelektrolyytin laatu
- polyelektrolyytin annostelu
- polyelektrolyyttiliuoksen syöttöväkevyys
- sekoituksen ja flokkauksen voimakkuus
    - sekoitusrummun nopeus
    - polyelektrolyyttiliuoksen lisäyspaikka lietevirtaan.

Kuivausta voidaan säätää eri tavoin konetyypistä riippuen. Yhteistä kaikille tyypeille on vain lietemäärän eli koneen kapasiteetin säätömahdollisuus. Lingoissa voidaan usein säätää:
- kierrosnopeutta
- ruuvin suhteellista nopeutta ja
- vesipinnan korkeutta.

Suodatintyyppisissä koneissa on luonnollisesti tärkein tekijä suodatinkankaan laatu. Suotonauhojen säätöjä ovat
- suodatinkankaan liikenopeus
- puristuspaine
- mahdollinen imu
- nauhojen pesu.

Imusuodattimissa voidaan muuttaa viiran nopeutta, imua ja nauhojen pesua. Kammiosuodatinten muuttujia ovat pumppauspaine, suodatusaika ja kankaiden pesu.

5.2 KUNNOSTUKSEN JA KUIVAUKSEN ARVIOINTIMENETELMÄT

Kunnostuksen onnistumista voidaan seurata yksinkertaisimmin tarkkailemalla lieteflokin syntymistä ja laskeutumista mittalasissa. Tällä menetelmällä ei saada mittauskelpoisia tuloksia. Kunnostusvaikutusta voidaan mitata suodatusvastusmittauksella tai CST-laitteella (Capillary Suction Time), joilla oikeastaan mitataan lieteveden poistumisnopeutta lietteessä.

Lietteen kuivattavuus riippuu siinä määrin kuivaimen yksilöllisistä ominaisuuksista, ettei täysin yleisiä ja päteviä kuivauksen tutkimusmenetelmiä ole käytettävissä. Imusuodatusta voidaan tosin simuloida ns. Leaf-testillä ja lietteen sentrifugoitavuutta arvioida tarkoitukseen kehitetyllä menetelmällä. Lietteen kuivattavuus selviää kuitenkin lo-

pullisesti vasta täysimittaisissa koeajoissa. Kuivattavuuden arvioinnissa laboratorio-olosuhteissa on siis tyydyttävä kunnostustutkimuksiin. Menetelmiä on selostettu lähemmin vesihallituksen tiedotteessa n:o 124 (1977).

5.3 TUTKITUT LIETTEET

Tutkimuksiin valittiin sellaisia puhdistamoita, joilla oli vaikeuksia lietteen kuivauksessa, jotka olivat aikeissa hankkia kuivaimen tai joilla kuivaus oli vasta käynnistysvaiheessa. Tutkimukset rajoitettiin paria poikkeusta lukuunottamatta koskemaan suotonauhoja sillä lingot ovat hitaammin ja usein myös hankalammin säädettävissä kuin suotonauhat, kuivaustapahtumaa ei voi tarkastella silmämääräisesti eikä flokkausteho ole säädettävä.

Ensimmäiset tutkimukset tehtiin Lappeenrannan kaupungin Toikansuon puhdistamolla 31.5.-2.6.1976. Jäteveden puhdistusprosessina oli silloin alkaalinen rautasaostus kalkilla ja klooratulla ferrosulfaatilla. Lietteen käsittely laitoksella sisälsi tiivistyksen ja kuivauksen Krüger lingoilla. Tutkimukset tehtiin puhdistamon laboratoriossa. Tutkimusjaksoon kuului laitoksen lietteen kuivauskokeilu Larox PF painesuotimella.

Helsingin kaupungin Viikin puhdistamon lietettä tutkittiin laboratoriokokein 7-17.6.1976. Puhdistamo toimi tällöin tavallisena aktiivilietelaitoksena, jonka liete mädätettiin ja kuivattiin Slamex suotonauhalla.

22-28.6.1976 tutkittiin Helsingin Kyläsaaren puhdistamon lietettä. Puhdistusprosessina oli aktiivilietekäsittely ja lietteen käsittelyyn kuului mädätys ja kuivaus yhdellä Slamex suotonauhalla sekä kahdella Humboldt-Bird lingolla.

Kirkkonummen Strömsbyn puhdistamon lietteitä tutkittiin laboratoriokokein 1-19.7.1979. Rinnakkaissaostuksessa syntyvän lietteen käsittelynä oli lahotus ja kuivaus kahdella Upon lingolla.

Saarioinen Oy:n Sahalahden tehtaiden jätevesilietettä tutkittiin 14-21.7.1976. Puhdistusprosessiin kuului biotorni ja kaksivaiheinen aktiivilietekäsittely rengaskanavissa. Jälkimmäinen vaihe toimi

rinnakkaissaostusperiaatteella. Liete lahotettiin, tiivistettiin ja lingottiin kahdella Upon lingolla. Tutkimukset jatkuivat osittain täysimittaisina (Hietavuori 1977).

23-26.8.1976 tutkittiin Urjalan kirkonkylän puhdistamon lietettä. Laitos toimii rinnakkaissaostusperiaatteella, lietteen käsittelynä oli lahotus. Tarkoituksena oli löytää sopivia polyelektrolyyttejä Perusyhtymän markkinoiman suodatuspussin myöhempää kokeilua varten.

Alko Oy:n Rajamäen tehtaiden puhdistamon lietettä tutkittiin 31.8.-14.9. 1976. Silloin oli vielä käytössä puhdistamon vanha osa, jossa oli sepelisuodatin. Osa lietteestä muodostui anaerobissa käymisessä hiilitehtaan jätevesistä. Raaka liete lingottiin Humboldt-Bird lingolla.

20-30.9.1976 tutkittiin Turun keskuspuhdistamon lietettä. Puhdistusprosessina oli esisaostus kalkilla ja ferrosulfaatilla. Liete tiivistettiin, kunnostettiin kalkilla ja ferrikloridilla sekä kuivattiin kolmella Enso-Eimcobelt imusuodattimella. Rinnakkaisena kuivausvaihtoehtona oli kunnostus polyelektrolyyteillä ja kuivaus Hynnät suotonauhalla.

6-15.10.1976 tutkittiin Vihdin kunnan Nummelan puhdistamon lietettä. Jätevedet käsiteltiin jälkisaostusmenetelmällä, jossa käytettiin alumiinisulfaattia. Puhdistamoilla kuivataan myös Vihdin Kirkonkylän puhdistamon lietteet. Liete tiivistettiin, kalkkistabiloitiin ja kuivattiin Alfa-Laval lingolla.

Pohjan kirkonkylän puhdistamon lietettä tutkittiin 26.10.-4.11.1976. Rinnakkaissaostuslaitoksen tuottama liete kalkkistabiloitiin, tiivistettiin ja kuivattiin Slamex suotonauhalla.

Karkkilan alumiinisulfaatilla toimivan jälkisaostuslaitoksen lietettä tutkittiin viidessä jaksossa 17.11.1976-26.7.1977. Viimeisenä suoritettiin koeajo, jossa selvitettiin polyelektrolyyttien säätömahdollisuuksia laboratoriotutkimusten perusteella. Laitoksen lietteen käsittelyyn kuului tiivistys (jossa lisättiin hiukan kalkkia lietteeseen), ilmastettu lietevarasto ja kuivaus Slamex suotonauhalla.

Karjaan Pinjaisten puhdistamon lietettä tutkittiin kuudessa jaksossa 9.8.1976-27.6.1978. Puhdistusprosessina oli aluksi jälkisaostus kalkilla, mutta jälkisaostuksessa otettiin käyttöön v. 1977 kalkin ohella rauta. Liete tiivistettiin, kalkkistabiloitiin ja kuivattiin Slamex suotonauhalla.

27.10.-8.12.1978 tutkittiin Hämeenlinnan Paroisten puhdistamon lietettä ja suoritettiin kaksi koeajoa. Laitos toimii rinnakkaissaostusperiaatteella. Liete tiivistettiin ja kuivattiin kahdella Slamex suotonauhalla ja yhdellä Hynnät suotonauhalla.

5.4 TUTKIMUSTEN SUORITUS

Lietenäytteet noudettiin tavallisesti itse puhdistamoilta ja tutkittiin mahdollisimman tuoreina. Ne säilytettiin jääkaapissa ja niiden vanhenemista seurattiin pH- ja CST-mittauksin. Laboratoriotutkimukset tehtiin muutamaa poikkeusta lukuunottamatta vesihallituksen laboratoriotiloissa.

Polyelektrolyytit saatiin laboratoriotutkimuksiin näyte-erinä maahantuojilta. Kokeiltaviksi pyrittiin ottamaan yleisesti tunnettuja merkkejä sekä Kemiran markkinoima Fennofloc-sarja. Myös koeajoja varten saatiin muutaman kg:n näyte-erät. Polyelektrolyyttejä oli tutkimuksissa mukana kaikkiaan 62 kpl (liite 13). Läheskään kaikkia ei kuitenkaan testattu jokaiselle lietteelle, sillä työmäärä olisi ollut kohtuuttoman suuri ja polyelektrolyyttien määrä lisääntyi tutkimuksen aikana.

Tutkimuksissa sovellettiin COST 68 projektissa suositeltua kunnostuksen tutkimusmenetelmää (1975). Polyelektrolyyttiannostuksia pyrittiin tekemään enemmän kuin mainitussa suosituksessa on esitetty. Lietteen laadun ja polyelektrolyyttiannostuksen lisäksi otettiin muuttujiksi
- erilaiset polyelektrolyytit
- polyelektrolyyttiliuosten liuosväkevyydet ja
- sekoitus- eli flokkausaika.

Polyelektrolyyttien alustava karsinta tapahtui lisäämällä kokeiltavia polyelektrolyyttejä 0,125 %:n liuoksena 2,5 kg/tTS vastaava määrä

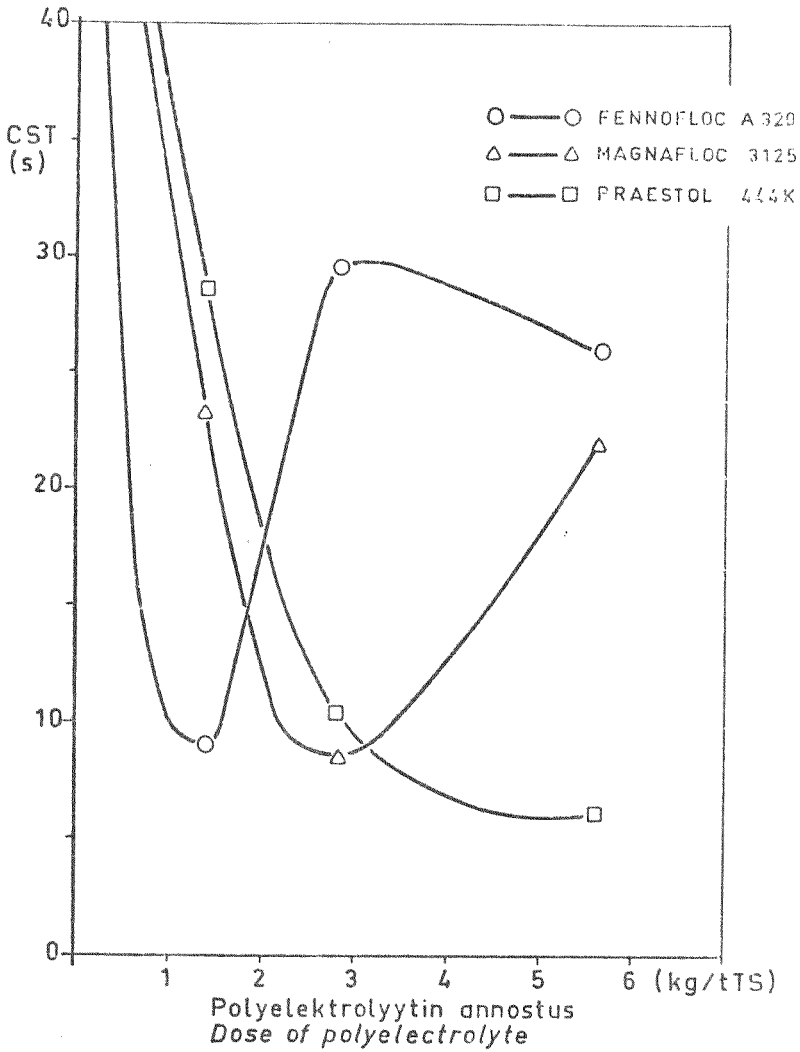
lietteeseen, jota sekoitettiin liuoksen lisäyksen jälkeen standardisekoittajalla 10 s. Jäljelle jääneitä polyelektrolyyttejä pyrittiin lisäämään 0,0625-0,25 %:n liuosväkevyyksinä 0,625-5 kg/tTS. Parhaille kokeiltiin eri pituisten sekoitusaikojen vaikutusta ja edelleen laimennettuja polyelektrolyyttiliuoksia. Tyypillisiä tuloksia on esitetty kuvissa 4 ja 7.

Tutkimuksissa pyrittiin mahdollisimman
- pieniin CST-arvoihin eli hyvään lietteen kuivattavuuteen
- pieniin polyelektrolyyttiannoksiin, joihin vaikuttavia tekijöitä ovat liuosväkevyys ja flokkausintensiteetti
- pieniin kunnostuskustannuksiin laskemalla parhaiden polyelektrolyyttien hinnan ja kulutuksen tulot ja
- hyvään flokin muodostukseen. Tätä kokeiltiin tarkastelemalla CST-arvoa flokkausajan (= sekoitusajan) funktiona. Mikäli paras sekoitusaika on lyhyt ja tulokset huononevat sen jälkeen nopeasti, on sekoitusolosuhteisiin laitoksella kiinnitettävä erityisen suurta huomiota (kuvat 5 ja 8).

Lietteiden kunnostus on tulkittu onnistuneeksi silloin, kun CST-arvot 18 mm lieriötä käyttäen ovat alle 10 s. Mikäli liete on ennen kunnostusta suotautunut erittäin helposti käytettäessä 18 mm lieriötä (CST < 100 s), on käytetty 10 mm aukolla varustettua lieriötä. Onnistuneen kunnostuksen tulkinta on tällöin luonnollisesti ollut erilainen.

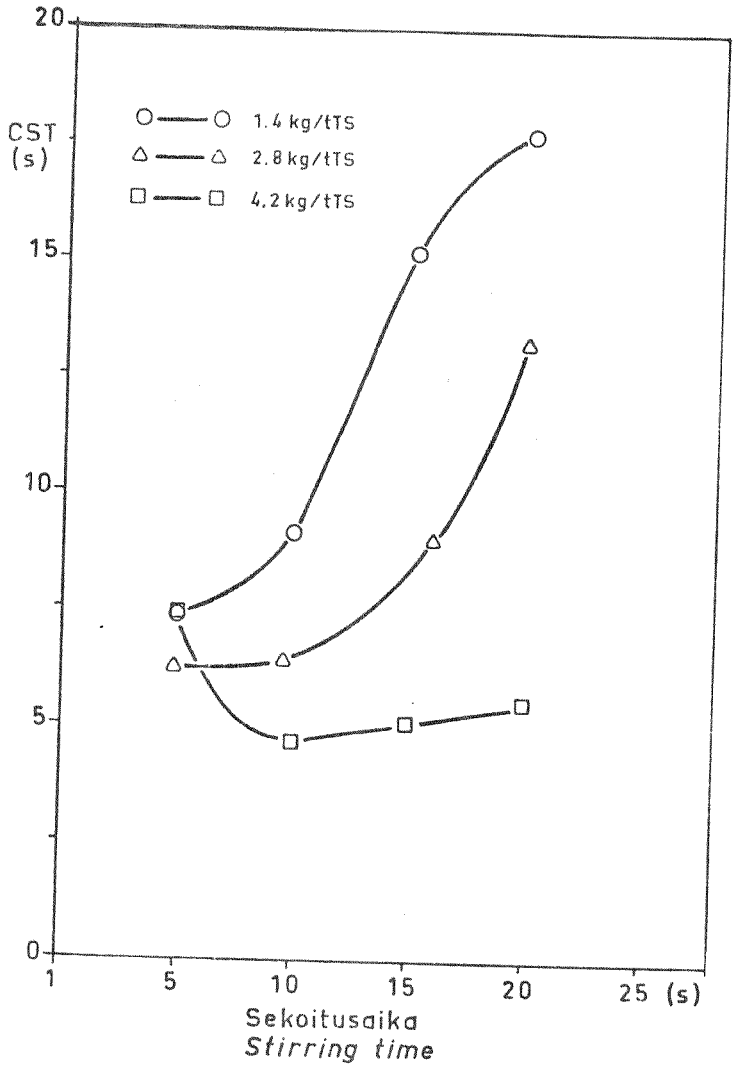
Tutkimustuloksia verrattiin käytännön arvoihin ja niitä selostettiin laitosten käyttäjille. Kolmessa tapauksessa osallistuttiin kuivainten koeajoihin. Koeajot ovat välttämättömiä selvitettäessä laboratoriotutkimusten ja käytännön välistä korrelaatiota. Koeajotuloksia on käsitelty erikseen luvussa 5.6.

Polyelektrolyyttien hinnat on tiedusteltu niiden toimittajilta vuosien 1976 tai 1977 hintatasossa. Kaikki jäljempänä esitetyt kustannuslaskelmat on esitetty tässä hintatasossa. Kustannuksia on pidettävä lähinnä suuntaa antavina niiden kirjavien perusteiden vuoksi, sillä toimitusten suuruus, rahti ja Lvv:n osuus vaihtelevat eri hinnoissa.



Kuva 4. Polyelektrolyyttien kunnostusvaikutuksia liuosväkevyydellä 0,125 % Lappeenrannan lietettä käyttäen. Sekoitusaika 10 s.

Fig. 4. Conditioning effects of some polyelectrolytes at 0.125 % concentration for the Lappeenranta sludge. Stirring time 10 s.



Kuva 5. Polyelektrolyyttiannostuksen ja sekoitusajan voimakkuuden vaikutus Hämeenlinnan lietteen CST-arvoihin.

Fig. 5. The effect of polyelectrolyte dosage and stirring time to the CST-values of Hämeenlinna sludge.

5.5 TUTKIMUSTULOKSIA

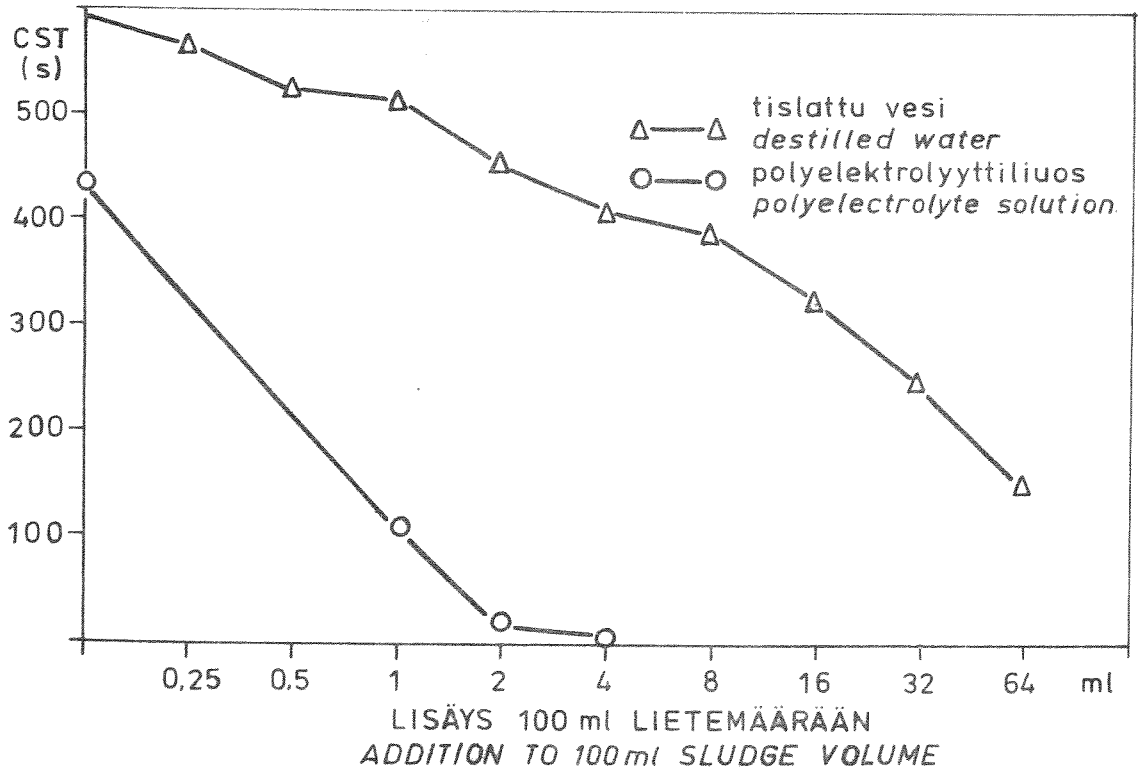
Lappeenrannan puhdistamon lietteelle (TS 3,2-3,6 %) kokeiltiin yhdeksää polyelektrolyyttiä ja kalkki-ferrosulfaattikunnostusta. Parhaat kunnostustulokset saatiin kationisilla polyelektrolyyteillä Zetag 92 (annostuksella 2,5 kg/tTS), Praestol 444 K ja 434 K (annostuksella 5 kg/tTS). Esimerkki tutkimusten tuloksista on kuvassa 4. Kunnostuksen kustannukset olisivat vastaavasti n. 55 mk/tTS (Zetag 92) tai 140-160 mk/tTS (Praestolit). Mikäli laitoksella voidaan koeajojen perusteella tyytyä hiukan vaatimattomampaan kunnostustulokseen, voidaan käyttää anionisia polyelektrolyyttejä Fennofloc A 320 (1,25 kg/tTS) tai Magnafloc 157 tai 3125 (1,25-2,5 kg/tTS), joita vastaavat kustannukset olisivat n. 18-46 mk/tTS. Laitoksella oli täysimittaisessa käytössä Fennofloc A 320, jota annosteltiin 2,5 kg/tTS. Koska tämän polyelektrolyytin optimiannostusalue on hyvin kapea, sitä ilmeisesti käytettiin enemmän kuin on tarpeen. Tähän viittaa myös se, että polyelektrolyytin liuosastiassa oli liukenemattomia hiukkasia. Sekoituskokeet osoittivat, että polyelektrolyyttiannoksen lisääminen ja/tai-liuosväkevyyden kohottaminen lisäävät flokkaukseen vaadittavaa energiaa. Pienet annostukset ja laimeat liuokset puolestaan edellyttävät hyvin hellävaraista flokkausta. Kalkki-ferrosulfaattikunnostus ei antanut polyelektrolyyttikunnostukseen varrattavaa tulosta.

Viikin puhdistamon mädätetylle lietteelle (TS 3,6 %) kokeiltiin niinikään yhdeksää polyelektrolyyttiä. Parhaaksi ja halvimmaksi todettiin Praestol 423 K, joka olikin puhdistamolla käytössä. Suunnilleen saman arvoinen oli Zetag 92, jota oli käytetty aiemmin puhdistamolla. Myös kationiset Praestol 444 K ja 343 K antoivat hyvän kunnostustuloksen. Viisi kokeiltua anionista polyelektrolyyttiä eivät sopineet lietteelle lainkaan. CST-mittauksin voitiin todeta, että kunnostetun lietteen flokkaus ennen kuivausta oli onnistunut erittäin hyvin. Polyelektrolyyttiliuosta laimentamalla voitaisiin polyelektrolyyttien kulutusta laboratoriotutkimusten perusteella pienentää merkittävästi tai parantaa lietteen kuivattavuutta (taulukko 16). Samalla on etsittävä paras flokkauksen voimakkuus. Hyvät CST-tulokset eivät johtuneet lietteeseen lisätyn veden määrästä, jonka vaikutus oli kyllä selvä, mutta ei lainkaan riittänyt selittämään hyviä tuloksia (kuva 6).

Taulukko 16. Polyelektrolyyttiliuoksen (Praestol 423 K) laimentamisen vaikutus CST-tuloksiin eri annostuksilla Viikin lietteellä.

Table 16. Effect of diluting the polyelectrolyte (Praestol 423 K) solution on CST-results with different dosages for the sludge of Viikki treatment plant in Helsinki.

Annostus *Dosage* (kg/tTS)	Liuosväkevyys *Concentration* (%)	CST (s)	Optimisekoitusaika *Optimum stirring time* (s)
5,0	0,25	4-11	1-70
	0,125	4-8	10-50
	0,0625	4-5	5-50
	0,0313	5	1-50
2,5	0,0625	7-11	1-10
	0,0313	8,5	1
1,25	0,0157	11,5	5
	0,0157	9	1



Kuva 6. Praestol 423 k:n (0,124 % liuos) ja tislatun veden vaikutus Viikin puhdistamon lietteen CST-arvoihin.

Fig. 6. Effects of Praestol 423 K (0.125 % solution) and distilled water on CST-values of the sludge from Viikki treatment plant, Helsinki.

Lietettä tutkittiin CST-mittauksin myös käyttäen HKR:n vesilaboratoriossa tehtyä ø 45 mm lieriötä. Sen havaittiin antavan pienempiä poikkeamia rinnakkaisissa määrityksissä. Saadut CST-arvot olivat 4-5, jopa 7 kertaa suurempia kuin 18 mm lieriöllä. Koska tulokset eri kokoisten lieriöiden kesken olivat muuten vertailukelpoisia, ei suuren lieriön käyttö ajanhukasta johtuen ole perusteltavissa.

Kyläsaaren puhdistamon lietettä (pH 7,2-7,5 ja TS 4,4 %) tutkittaessa todettiin samoin kuin Viikinkin lietteillä, että anioniset viisi polyelektrolyyttiä eivät lainkaan soveltuneet mädätetylle lietteelle. Kaikki tutkitut viisi kationista polyelektrolyyttiä toimivat hyvin. Sekä Hercofloc 829 että Zetag 92 riittävät 2-2.5 kg/tTS annostuksilla ja ovat edullisina myös kokonaiskustannuksiltaan halvimmat. Kalliimpien Praestol polyelektrolyyttien optimialue näytti olevan 3-5 kg/tTS.

Kirkkonummen Strömsbyn lietteellä (pH 7,3-7,6 ja TS 2,4-6,1) todettiin, että tutkituista 31 polyelektrolyytistä 14 toimi tyydyttävästi. Näistä vain yksi oli anioninen, kaikki muut olivat kationisia. Kaikki sopimattomat polyelektrolyytit olivat anionisia tai nonionisia. Parhaat kunnostustulokset saatiin Fennoflocin, Hercoflocin ja Praestolin vahvasti kationisilla polyelektrolyyteillä sekä Zetag 92:llä, joiden optimiannostukset olivat välillä 1,5-5 kg/tTS. Laimeimmat polyelektrolyyttiliuokset antoivat aina hiukan parempia CST-arvoja kuin yli 0,1 % liuokset. Edullisimmalta polyelektrolyytiltä näyttäisivät näiden tutkimusten perusteella Fennofloc K 210 ja Hercofloc 829, joiden optimialueet olivat välillä 2-3 kg/tTS ja vastaavat kustannukset 30-40 mk/tTS.

Saarioisten Sahalahden tuotantolaitosten jätevesiliete näytti olevan helposti kuivattavissa, sillä se antoi jo ilman kemikaalilisäystä varsin pieniä CST-arvoja. Lietteen hienojakoisuus ja rasvapitoisuus tekivät sen kuivaamisen puhdistamolla kuitenkin vaikeaksi. Laitoksen lietteelle kokeiltiin 32 polyelektrolyyttiä, joista 12 antoi kohtalaisen tuloksen. Praestol A 751 lukuunottamatta hyviä tuloksia saatiin vain kationisilla polyelektrolyyteillä. Parhaat tulokset saatiin tavallisesti 2,5-5 kg/tTS annostuksilla. Edullisimmalta vaikutti Hercofloc 859 K, jolla pitäisi laboratoriotutkimusten mukaan päästä n. 25 mk/tTS kunnostuskustannuksiin. Polyelektrolyyttiliuosten erilaiset väkevyydet eivät vaikuttaneet sanottavasti kunnostustulokseen.

Urjalan puhdistamon liete (pH 7,6-8,0 ja TS 1,4-1,7 %) oli niinikään helposti suodattuvaa, joten CST-määrityksissä jouduttiin käyttämään ø 10 mm pohjareiällä varustettua ø 18 mm lieriötä kuten Sahalahdellakin. 32 kokeillusta polyelektrolyytistä tehottomia olivat paria poikkeusta lukuunottamatta anioniset. Kymmenestä parhaasta vain yksi (Praestol A 751) oli anioninen, muut olivat kationisia. Parhaat kunnostustulokset saatiin polyelektrolyytistä riippuen annostuksilla 1,5-5,0 kg/tTS. Liuosväkevyyden vaikutus oli hajanainen ja satunnainen. Kunnostuskustannukset vaihtelivat välillä 30-175 mk/tTS; edullisimmiksi osoittautuivat Praestol 423 K (1,5 kg/tTS, 30 mk/tTS) ja Zetag 92 (1,5 kg/tTS, 33 mk/tTS).

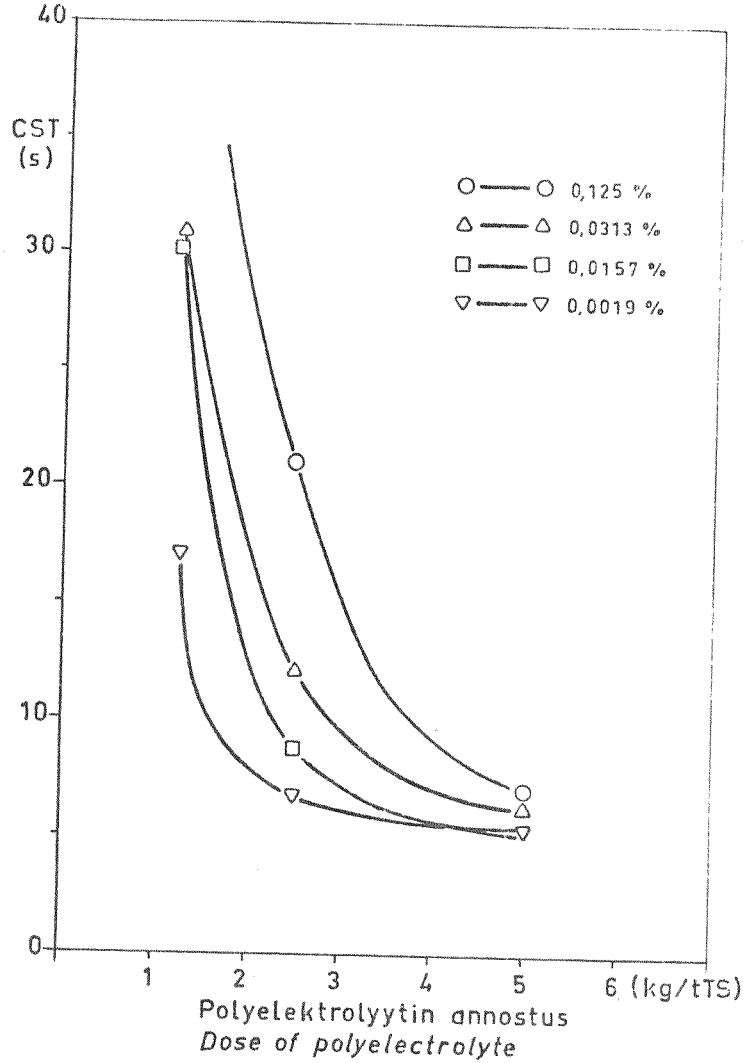
Alkon Rajamäen tehtaiden jätevesiliete (pH 6,2 ja TS 1,2 %) oli laitoksella vaikeasti kuivattavissa, vaikka laboratorio-olosuhteissa saatiinkin kohtalaisen hyviä tuloksia. Yhteensä 41 tutkitusta polyelektrolyytistä parhaita olivat jälleen kationiset polyelektrolyytit Praestol A 751:tä lukuunottamatta. CST-käyrät olivat laskevia, joten yli 5 kg/tTS annostuksella olisi mahdollisesti saatu vielä parempia tuloksia. Parhaat viisi polyelektrolyyttiä antoivat 2,5-5 kg/tTS annostuksella 43-165 mk/tTS kunnostuskustannukset. Halvimpia olivat Hercofloc 844 K ja 859 K, kalleimpia Fennofloc K 744 ja Praestol 444 K ja A 751.

Turun jätevesilietteelle (pH 6,0-6,1 ja TS 6,5-7,7 %) kokeiltiin kaikkiaan 49 polyelektrolyyttiä, joista 26 antoi kelvollisia tuloksia. Jälleen olivat parhaita kationiset ja sama anioninen polyelektrolyytti kuin edelläkin. Tyydyttävä kunnostusvaikutus saatiin annostuksilla 1,5-5,5 kg/tTS. Eri polyelektrolyytit käyttäytyivät eri tavoin siten, että eräiden suhteellisen terävä optimialue esiintyi annostuksilla 2-3 kg/tTS kun taas eräät toiset saivat yhä paranevia CST-arvoja annostuksen kasvaessa. Liuosväkevyyden pienentämisen edullinen vaikutus oli useimmilla hyvillä polyelektrolyyteillä selvä. Parhaat ja edullisimmat kunnostustulokset saavutettiin 2-2,5 kg/tTS annostuksilla 37-50 mk/tTS kustannuksin käyttäen Bozefloc C45, Magnafloc 292 Hercofloc 859 K tai 844 K tai Praestol 423 K tai kahden viimeksimainitun seosta. Niiden vastaavat liuosväkevyydet olivat yleensä 0,06 %, joskin sama kunnostustulos saavutettiin eräillä polyelektrolyyteillä jopa 0,25 % liuoksella.

Vihdin kunnan Nummelan puhdistamon (pH 8,6-9,2 ja TS 1,5 %) lietteelle kokeiltiin 41 polyelektrolyyttiä, joista 16 osoittautui kunnostusominaisuuksiltaan riittävän hyviksi. Näistä 14 oli kationisia. Anioniset polyelektrolyytit olivat Praestol A 751 ja 2935/75, joista jälkimmäinen toimi hyvin vain suppealla alueella. Kunnostusvaikutus riippui jälleen polyelektrolyytistä: toisilla tulos parani jatkuvasti annostuksen kasvaessa, toisilla taas tulos alkoi huonontua annostusta lisättäessä. Joka toisella toimivista polyelektrolyyteistä syöttöliuoksen laimentaminen vaikutti edullisesti CST-arvoon. Riittävä kunnostus saatiin aikaan polyelektrolyytistä riippuen annostuksilla 1-5 kg/tTS. 0,06 % liuosväkevyyksillä 1-3 kg/tTS annosteltujen edullisimpien polyelektrolyyttien Hercofloc 829,8, 844 K ja 859 K, Magnafloc 292 sekä Fennofloc K 744 kustannukset olivat 30-40 mk/tTS. Hercofloc 829,8 ja 859 K voitiin käyttää myös väkevämpinä liuoksina. Praestol 2935/75 kustannukset olivat vain 15-20 mk/tTS, mutta kunnostustulos saattaa jäädä saavuttamatta kemikaalin herkkyyden vuoksi.

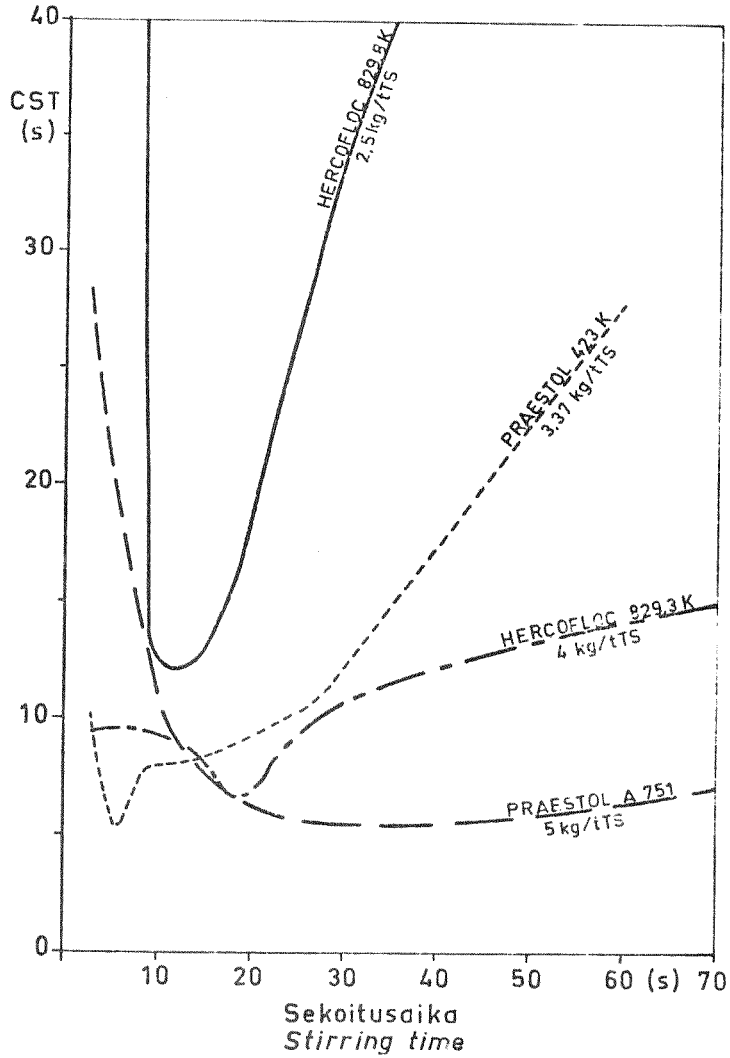
Pohjan puhdistamon lietteelle (pH 6,1 ja TS 2,8 %) kokeiltiin 30 polyelektrolyyttiä, joista vain 8 näytti riittävän hyviltä. Nämä olivat Praestol A 751:tä lukuunottamatta kationisia. Kaikki toimivat tyydyttävästi 0,06 % liuosväkevyydellä ja useimmat tätä väkevämpinä liuoksina. Lietteen vaikeahkoa kuivattavuutta osoittavat annostukset, jotka olivat yli 2,0 kg/tTS, tavallisimmin yli 3,0 kg/tTS. Edullisimmiksi osoittautuivat laboratoriokokeiden mukaan Hercofloc 859 K ja 844 K, joita käyttäen kustannukset näyttäisivät olevan 34-42 mk/tTS.

Karkkilan puhdistamon lietettä koetettiin kunnostaa 47 polyelektrolyyttillä, joista 18 antoi kunnostetulle lietteelle < 10 s CST-aikoja. Vain kaksi sopivista polyelektrolyyteistä oli anionisia. Lietteen kuiva-ainepitoisuus vaihteli tutkimuksen aikana välillä 2,4-7,4 % ja pH 6,1-7,3. Tutkimuksessa kelvollisiksi havaittujen polyelektrolyyttien riittävä annostelu vaihteli välillä 1,2-6,2 kg/tTS. Kun laitoksen oman Magnafloc 292:n riittävää annostusta vastaava kunnostuskustannus oli 36 mk/tTS, vaihtelivat muiden kustannukset 17-217 mk/tTS. Taloudellisina vaihtoehtoina laitoksen käyttämälle polyelektrolyytille olivat Praestol 444 K (1,2 kg/tTS, 39 mk/tTS), Hercofloc 859 K (1,8 kg/tTS, 34 mk/tTS), Zetag 92 (1,8 kg/tTS, 40 mk/tTS) ja Fennofloc K 105 tai K 205 (1,2 kg/tTS, 17 mk/tTS). Polyelektrolyytin liuosväkevyyden pienentäminen vaikutti muiden em. kemikaalien paitsi Praestol 444 K:N kohdalla CST-arvoja pienentävästi. Kuvassa 7 on esitetty liuosväkevyyden vaikutus Magnafloc 292:n kunnostusvaikutukseen. Tutkittaessa se-



Kuva 7. Polyelektrolyyttiliuoksen laimentamisen vaikutus CST-tuloksiin Karkkilan lietteellä.

Fig. 7. The effect of diluting the polyelectrolyte solution (Magnafloc 292) on CST-results with the sludge from Karkkila.



Kuva 8. CST-tulosten riippuvuus sekoitusajasta eräillä polyelektrolyyteillä Karkkilan lietteellä. Lietemäärä 750 ml ja liuosväkevyys 0,125 %.

Fig. 8. The relation of CST-results and stirring time with some polyelectrolytes with the sludge from Karkkila. Sludge volume 750 ml and pol. feed concentration 0.125 %.

koitusajan vaikutusta todettiin, että eri polyelektrolyytit kestävät flokkausta hyvin eri tavoin. Polyelektrolyytin omien ominaisuuksien lisäksi vaikuttavat kunnostetun lietteen flokkien kestävyyteen lietteen laatu sekä polyelektrolyytin annostelu ja liuosväkevyys. Esimerkkejä kunnostusvaikutuksista ja kunnostetun lietteen sekoituskestävyydestä on esitetty kuvassa 8.

Karjaan puhdistamon lietteellä tutkittiin 50 polyelektrolyytin vaikutusta. Ennen prosessimuutosta lietteen pH oli 8,6-12,3 ja TS 4,9-10,8 %. Kalkki-rautasaostuksen jälkeen lietteen pH oli 8,8-9,5 ja TS 8,5-8,9 %. Kunnostamattoman lietteen CST-arvot olivat alkuperäisessä lietteessä 60-340 s, muutoksen jälkeen enää vain 15-25 s. Riittävänä pidettävän kunnostustuloksen antoi alkuvaiheessa 11 polyelektrolyyttiä, jotka olivat kaikki kationisia. Muutoksen jälkeen kelpasi niistä enää 8, mutta lisäksi saatiin 11 muulla hyviä tuloksia, joiden joukossa oli myös kaksi anionista polyelektrolyyttiä Fennofloc A 320 ja Praestol A 751. Alkuvaiheen suuret pH-vaihtelut osoittivat, että muuten hyvin toimineet polyelektrolyytit eivät suurimilla pH-arvoilla riittäneet antamaan lainkaan tyydyttävää tulosta. Laitoksella oli kokeiltu neljää tutkituista polyelektrolyyteistä. Näistä Fennofloc 320 A ja Praestol 2935/74 olivat laboratoriotutkimusten mukaan vaikeasti käytettäviä riittämättömän kunnostustuloksen ja kapea-alaisen optimialueen johdosta, mikä oli myös näkynyt huonona kuivaustuloksena. Ylivoimaisesti taloudellisimmalta nykyiselle lietteelle vaikuttaa Fennofloc 320 A (0,5 kg/tTS, 7 mk/tTS), mutta sitä on osattava annostella erittäin tarkasti. Muutoin on turvauduttava 1,5 kg/tTS annostuksilla Hercofloc 844 K (26 mk/tTS), Magnafloc 292 (28 mk/tTS) tai Praestol 423 K (29 mk/tTS). Muina vaihtoehtoina tulevat kysymykseen selvästi kalliimpina mm. Bozefloc C65, C45 tai C68, Praestol 444 K, A 751, Hercofloc 859 K, Fennofloc K 744 tai Flocogil C4. Flokkauskokeet kahdeksalla polyelektrolyytillä osoittivat, että käytettäessä samaa sekoittajaa ja erikokoisia (100 ml ja 750 ml) sekoitusastioita saatiin pienessä astiassa tapahtuneen sekoituksen jälkeen aina pienempiä CST-arvoja kuin isommasta astiasta vastaavalla tavalla. Toisin sanoen lyhyt ja tehokas sekoitus-flokkaus on parempi kuin hellävarainen ja pitkä, jonka vaikutusta heikentää polyelektrolyytin huono sekoittuminen koko lietetilavuuteen ennen sen rektioita.

Hämeenlinnan puhdistamolla olivat ylijäämälietteen määrä ja tuotanto niin suuria, että kuivattava liete muodostui suureksi osaksi ylijäämälietteestä. Kun tiivistämön kuormitus oli hyvin suuri, palasi hie-

noin osa ylijäämälietteestä takaisin puhdistamolle vaikuttamatta haitallisesti kuivattavan lietteen laatuun. Pelkän ylijäämälietteen kunnostusominaisuuksia tutkittiin erikseen tutkimuksen alussa, muuten tutkittiin kuivaimille menevää tiivistettyä sekalietettä. Yhteensä kokeiltiin 35 polyelektrolyyttiä, joista 14 antoi riittäviä kunnostustuloksia. Kaikki kelvolliset polyelektrolyytit olivat kationisia Praestol A 751 lukuunottamatta. Ylijäämälietteen pH oli 7,1-7,5 ja TS alunperin vain 0,2-0,4 %. Vaikka ylijäämälietettä laskeutettiin yön yli 1,4 % TS:een, se osoittautui hankalasti kunnostettavaksi. Se vaati polyelektrolyyttejä Praestol 423 K > 3 kg/tTS, Bozefloc C 45 > 4,5 kg/tTS ja Zetag 43:a, joka oli käytössä puhdistamolla, > 5 kg/tTS. Sekalietteellä (pH 6,4-7,1 ja TS 2,4-3,8 %) em. polyelektrolyytit antoivat riittävän hyvän tuloksen jo > 1,2 kg/tTS annostuksilla. Parhaat CST-tulokset saavutettiin tavallisesti > 1,5 kg/tTS annostuksilla. Selvästi edullisimmalta vaikutti Hercofloc 829,3 K, jonka kustannuksiksi saatiin 14 mk/tTS. Muiden kustannukset olivat 25-65 mk/tTS. Kunnostusvaikutus oli Zetag 92 lukuunottamatta hyvä laajalla annostelualueella. Puhdistamon oma polyelektrolyytti Zetag 43 sekä sen kanssa ajoittain yhdessä käytetty Praestol 421 eivät laboratoriotutkimusten perusteella vaikuttaneet taloudellisimmalta vaihtoehdolta. Liuosväkevyyden vaikutusta tuloksiin ei tutkittu. Lieteflokkien sekoituskestävyyttä tutkittaessa todettiin, että yksittäiset polyelektrolyytit kestivät > 2,5 kg/tTS annostuksilla ja syöttöväkevyydellä 0,1 % erittäin hyvin sekoitusta, samoin myös puhdistamolla käytetty polyelektrolyyttiseos. Sensijaan tätä pienemmillä annostuksilla olivat muiden kuin mainitun polyelektrolyyttiseoksen ja Hercofloc 829,3 K:n kunnostetut lietehiukkaset herkkiä rikkoutumaan huonontaen CST-tuloksia.

5.6 KOEAJOT

Lappeenrannan konepaja koeajoi Lappeenrannan puhdistamolla Larox PF-painesuodinta 1.6.-4.6.1976 vesihallituksen kunnostustutkimusten perusteella. Painesuotimelle tuleva liete otettiin tiivistämöstä 600 l lietealtaaseen, josta se edelleen pumpattiin painesuotimeen. Kunnostuskemikaalit lisättiin lietealtaaseen, jossa ne sekoitettiin lietteeseen. Kokeilut Fennofloc A 320:llä, Magnafloc 3125:llä ja Zetag 92:llä eivät onnistuneet sillä liete ei kuivunut koneessa. Syynä oli ilmeisesti sekoitusherkkien polyelektrolyyttien lieteflokin rikkoutuminen lietepumpussa ja suodattimen jakoputkistossa sekä tästä johtuva suodatinkankaan tukkeutuminen.

Sen sijaan Praestol 444 K:n käyttö suhteellisen väkevänä liuoksena suorastaan edellytti tehokasta sekoitusta ja niinpä sillä saatiin erittäin hyvä kuivaustulos, n. 40 % TS. Edelleen kokeiltiin laboratoriokokeiden perusteella kalkin (20 % CaO TS:stä) ja ferrosulfaatin (10 % $FeSO_4$ TS:stä) käyttöä samalla tavalla. Vaikka nämä eivät antaneetkaan yhtä hyviä tuloksia kuin polyelektrolyytit CST-ajan jäätyä 12,6 s:iin oli kuivaustulos yhtä hyvä kuin Praestol 444 K:lla. Kuivaimen käytön optimaalisia käyttöolosuhteita ei flokkauksen, suodatinkankaan, kuivauskapasiteetin eikä prosessivaihtojen osalta ehditty selvittää. Liian lyhyen koeajoohjelman johdosta voitiin vain todeta, että painesuodin soveltuu myös kunnallisten jätevesilietteiden kuivaukseen, vaikka se alunperin onkin tarkoitettu teollisuuden prosessisovellutuksiin. Kunnalliselle jätevesilietteelle sen lukuisat säätö- ja kuivausmahdollisuudet ovat ehkä tarpeettoman monipuoliset.

Saarioisten tuotantolaitoksilla Sahalahdella suoritettiin UPO Oy:n toimesta kunnostusten jatkotutkimuksia ja täysimittaisia koeajoja UPO:n lingolla. Prosessimuutoksista johtuen sisältyi ohjelmaan tiivistetyn ja anaerobisti varastoidun lietteen kuivausta. Kokeillut polyelektrolyytit ja niiden keskinäinen paremmuus tukevat kuitenkin alkuperäisiä laboratoriotuloksia, vaikka lietteen laadusta, prosessien muutoksista ja lingon sisäisistä ominaisuuksista johtuen tutkimuksissa ei päästy läheskään samoihin annostuksiin kuin laboratoriossa (Hietavuori 1977).

Karkkilan puhdistamolla kokeiltiin päivän mittaisessa Slamex suotonauhan koeajossa kahden polyelektrolyytin laimentamista. Laitoksella käytössä oleva Magnafloc 292 laimennettiin 0,1 %:sta 0,033 %:iin ja myös Fennofloc K 205 kokeiltiin samoilla väkevyyksillä. Kuivattavan lietteen ja polyelektrolyyttiliuoksen pumppausta säädettiin itse. Magnafloc 292 kulutus oli normaalissa kuivauksessa 3,1 kg/tTS, mutta 0,033 %:iin laimennettuna sitä kului optimisäädöllä vain 1,8 kg/tTS. Fennofloc K 205 kului vastaavasti 3,6 ja 2,1 kg/tTS. Magnafloc 292 voitiin annostella mielivaltaiseen kohtaan lietteen tuloputkistossa eikä koneen kapasiteettia tarvinnut pienentää polyelektrolyyttiliuosta laimennettaessa. Fennofloc K 205 oli sekoitusherkkyydestä johtuen lisättävä lietepumpun jälkeen. 0,1 % liuosta käytettäessä pieneni kuivaimen kapasiteetti, kun taas 0,033 % liuoksella koneen kapasiteettia voitiin nostaa normaaliarvoista. Fennofloc K 205 aiheutti hiukan viiran tukkeutumista, joka ilmeni veden erottumisena lietekerroksen pintaan suotonauhalla.

Kunnostetun lietteen CST-arvot olivat 8-11 s. kun ne olivat Magnafloc 292:lla 5-7 s. Kuivaustulos oli kummallakin polyelektrolyytillä 16.6-18,6 % TS. Liuosväkevyyttä laimentamalla ja tarkalla ajotavalla saatiin siis kummallakin polyelektrolyytillä n. 40 % säästö kemikaalikulutuksessa.

Hämeenlinnan puhdistamolla kokeiltiin Hynnät Oy:n suotonauhan toimintaa Hercofloc 815:llä ja Praestol 423 k:lla puhdistamon oman polyelektrolyyttiseoksen lisäksi. Toinen koeajoista uusittiin myöhemmin. Suotonauha oli hyvin herkkä kunnostustavan muutoksille. Lietemäärän lisääminen aiheutti heti vaikeuksia lietteen levitessä viirojen ulkopuolelle ja kankaan tukkeutuessa, vaikka käytettiin laitoksen omia kemikaaleja. Kokeilut myös muilla polyelektrolyyteillä onnistuivat huonosti. Polyelektrolyytin syöttöä jouduttiin lisäämään ja koneen kapasiteettia pienentämään. Kuivaustulos ei huonontunut merkittävästi, mutta rejekti likaantui pahoin. Lietekakun pyörittämä yläviiran rajakatkaisija pysäytti koneen nopeasti kokeilujen alkamisen jälkeen. Syy huonoihin tuloksiin on aivan ilmeinen: polyelektrolyyttiliuos lisättiin lietepumpun eteen, mikä rikkoi lietehiukkaset niin pieniksi, että ne joko menivät esikunnostusrummun siivilän läpi rejektin joukkoon tai tukkivat viiran. CST-tulokset laitoksen omalla ja kokeilluilla polyelektrolyyteillä olivat nimittäin täysin vertailukelpoiset. Suotonauhan kunnostusjärjestely ei Hämeenlinnassa toteutetulla tavalla ole riittävän joustava optimaalisten tulosten saavuttamiseksi. Erityistä huomiota tulisi suotonauhakoneissa kiinnittää polyelektrolyytin syöttökohdan muuttamismahdollisuuksiin ja flokkausintensiteetin joustaviin säätöihin.

5.7 TULOSTEN TARKASTELU

Lietteen kunnostustutkimuksissa oli mukana kaikkiaan 62 polyelektrolyyttiä. Läheskään kaikkia polyelektrolyyttejä ei ehditty kokeilla kaikilla lietteillä. Valtaosa laboratorio-oloissa saaduista onnistuneista kunnostuksista lankesi kationisille polyelektrolyyteille, anioniset polyelektrolyytit sopivat korkeassa pH:ssa oleville lietteille paremmin kuin neutraaleille, mutta enemmistö hyvistä tuloksista oli aina kationisilla polyelektrolyyteillä. Eniten onnistuneita kunnostustuloksia saatiin polyelektrolyyteillä Fennofloc K 744, Hercofloc 844 K ja 859 K, Praestol 423 K, 434 K ja 444 K sekä Zetag 92. Vähemmän kokeiltuja mutta niinikään hyviä tuloksia antavia olivat

Bozefloc C 45, C 65 ja C 68, Flocogil C 4, Hercofloc 829,3 K ja 829,8 K, Magnafloc 292 sekä Praestol A 751. Näistä polyelektrolyyteistä joku tai useat antavat varmasti hyvän kunnostustuloksen millä lietteellä hyvänsä. Taloudellisin vaihtoehto saattaa löytyä tästä joukosta, joskin taloudellisimman vaihtoehdon etsiminen edellyttää myös monien muiden ja halvempien polyelektrolyyttien kokeilua.

Varsin monessa tapauksessa todettiin, että polyelektrolyyttiliuoksen laimentaminen parantaa kunnostustulosta selvästi, pienentää kemikaaliannostusta ja vähentää kemikaalikuluja. Laimentamisen vaikutus todettiin täysimittaisissa koeajoissa Karkkilassa. Vaikutukset riippuvat käytettävän polyelektrolyytin ja lietteen ominaisuuksista ja ennen kaikkea optimaalisen flokkausintensiteetin etsimisestä. Käytännössä saattaa kuitenkin polyelektrolyyttiliuoksen syöttöpumpun kapasiteetti asettaa rajoituksia liuoksen laimentamiselle. Lisäksi on huomattava, että säästöjen aikaansaaminen edellyttää tasaista lietteen laatua ja kuivaimen varsin tarkkaa käyttöä. Tästä johtuen ei merkittäviä säästöjä voitane saavuttaa pienillä (< 10 000 AVL) laitoksilla. Mikäli lietehiukkaset rikkoutuvat lietepumpussa, flokkausyksikössä tai itse kuivaimessa, on kokeiltava polyelektrolyyttiliuoksen syöttökohdan muuttamista, flokkaustehon pienentämistä tai polyelektrolyyttiannostuksen lisäämistä tai -liuoksen syöttämistä väkevämpänä.

Käytetty tutkimusmenetelmä soveltuu sopivien polyelektrolyyttien haarukoimiseen täysimittaisia koeajoja varten. Menetelmän edut tulevat esille silloin, kun halutaan tutkia suuri määrä polyelektrolyyttiä pienillä lietemäärillä nopeasti laitoksen toimintaa häiritsemättä. Sekoituksen vaikutus lieteflokkien kestävyyteen saadaan kätevästi selville, minkä perusteella voidaan arvioida syöttö- tai flokkausintensiteetin muuttamistarvetta puhdistamolla. Hyvä CST-tulos on välttämätön, mutta ei riittävä ehto kunnostuksen ja kuivauksen onnistumiselle täydessä mittakaavassa. Flokkaus- ja sekoittumisolosuhteet puhdistamolla saattavat poiketa niin paljon laboratorio-olosuhteista, että periaatteessa hyvä kunnostustulos mitätöityy (esimerkkeinä Hämeenlinnan koeajo tai linkojen toiminta).

Mikäli kunnostuskustannuksia halutaan pienentää, on lähtökohtana oltava laitoksen huolellinen käyttäminen. Jäteveden käsittelyssä olisi pyrittävä helposti laskeutuvaan lietteeseen, lietteen käsittelyn tulisi parantaa lietteen laskeutuvuutta ja kuivauksesta vastaavan henkilön tulisi seurata lietteen laatuvaihteluita, määrää ja kemikaalien kulu-

tusta sekä säätää kunnostusta ja kuivausta tarpeen mukaan. Kuivaimen käyttöajan opastaminen ja kouluttaminen on välttämätöntä. Polyelektrolyytit tulee liuottaa täysin, eivätkä liuokset saa vanhentua. Kun muutetaan annostusta, kokeillaan liuosten laimentamista tai muita polyelektrolyyttejä, on liuosten syöttökohtaa ja/tai flokkausintensiteettiä ainakin suotonauhoilla voitava muuttaa, sillä polyelektrolyyttiliuosten viskositeetit vaihtelevat eri merkeillä ja liuosväkevyyksillä. Polyelektrolyyttiliuoksen ja lietteen virtaamat olisi kyettävä selvittämään nopeasti ja jatkuvasti, jotta saataisiin luotettava kuva todellisista määristä kunakin hetkenä.

6. T I I V I S T E L M Ä

Tässä raportissa esitettyjen tutkimusten tarkoituksena oli selvittää lietteen koneellisen kuivauksen ja myös muun käsittelyn todellisia kustannuksia ja kokeilla tutkimusmenetelmiä, joilla voitaisiin parantaa kunnostuksen ja kuivauksen toimintaa ja taloudellisuutta. Eräänä tehtävänä oli myös tarjota lietteen hyväksikäytön suunnittelun tarvitsemia kustannustietoja. Tutkimukset rahoitti aluksi kauppa- ja teollisuusministeriö ja sittemmin vesihallitus.

Lietteen käsittelyn kustannuksia selvitettiin kirjallisuustietojen perusteella ja suorittamalla tiedustelu, joka kattoi käytössä olevien kuivainten rakennuttajat, suunnittelijat ja laitetoimittajat. Kirjallisuuden kustannustietojen hajonta oli suuri, mikä selittyy ajallisten ja paikallisten tekijöiden lisäksi erilaisilla mitoitukseen ja rakenteellisiin ratkaisuihin liittyvillä eroilla. Kaikkien käsittelytapojen kustannukset ovat suuremmat kuin tavallisesti kuvitellaan, sillä käsittely-yksiköiden kustannuksiin on syytä sisällyttää osuuksia tilakustannuksista ja kaikista muistakin yleisistä kustannuksista. Jopa tässä julkaisussa esitettyjä kustannuksia on tästä syystä pidettävä keskimääräisinä minimikustannuksina.

Tutkimuksen perusteella saatiin uutta tietoa kuivauksen käyttökustannusten jakautumisesta. Palkkakustannukset ovat keskimäärin kolmasosa ja polyelektrolyyttikustannukset niinikään kolmasosa kuivauksen käyttökustannuksista. Palkkakustannusten osuus on odotettua suurempi.

Pienimpien laitosten kuivauksen kokonaiskustannukset ovat 4, käyttökustannukset 3 ja pääomakustannukset lähes 7 kertaa suuremmat kuin suurimpien laitosten vastaavat kustannukset. Lietteen käsittelyn ja hyväksikäytön edistämiseksi onkin tärkeää pyrkiä alentamaan kuivauksen kustannuksia pienissä yksiköissä. Myös kustannusten seurantaa olisi kehitettävä, jotta voitaisiin toteuttaa säästötoimia. Koko aineiston keskimääräiset lietteen kuivauksen käyttökustannukset olivat 225 mk/tTS ja pääomakustannukset 105 mk/tTS.

Lietteen käsittelyn investoinnit olivat keskimäärin 17 % koko puhdistamoinvestoinneista. Koska lietteen käsittelyä jouduttaneen tulevaisuudessa useilla laitoksilla täydentämään stabiloinnilla, on lietteen käsittelyinvestointien merkitys puhdistamoinvestoinneissa lisääntymässä.

Tutkimuksen aikana laadittu ohjekustannustaulukko osoittautui tulosten mukaan varsin hyväksi arvioksi.

Tiedustelun ja muun aineiston perusteella laskettiin eri puhdistusmenetelmillä syntyvät stabiloimattoman lietteen määrät asukasvastineyksikköä kohti vuorokaudessa. Tulokset poikkesivat yleisesti käytetyistä arvoista. Kemiallisten selkeyttämöiden ja suorasaostuslaitosten lietetuotanto vaihteli keskimäärin välillä 110-230 gTS/AVL/d, biologisten laitosten lietemäärä jäi niinkin pieneksi kuin 60 g/tTS/AVL/d, rinnakkaissaostuslaitoksissa syntyi 100 gTS/AVL/d ja muiden biologis-kemiallisten laitosten tuotanto oli 90-180 gTS/AVL/d.

Keskeisimpänä tiedustelun tavoitteena oli kuivainten käyttökokemusten kerääminen. Kiinnostus kunnostuksen ja kuivauksen parantamista kohtaan on suuri ja sitä on tutkittu suhteellisen paljon. Kunnostuksen ja kuivauksen tärkeimpinä tavoitteina pidettiin korkeaa kuiva-ainepitoisuutta, pientä polyelektrolyyttien kulutusta ja puhdasta rejektiä. Kuiva-ainepitoisuudesta jouduttiin usein tinkimään, jotta polyelektrolyyttikulut säilyisivät kohtuullisina, lietteen kuormaus ei vaikeutuisi eikä rejekti huononisi liikaa.

Kotimaiset laitevalmistajat menestyivät hyvin arvosteltaessa kuivainten käytön koulutusta, neuvontaa ja huoltoa. Koulutusta olisi ilmeisesti tarpeen hiukan tehostaa. Hyvin toimiviin kuivaimiin oltiin tyytyväisiä ja niiden katsottiin sopivan hyvin laitokselle.

Polyelektrolyyttien kulutus vaihteli lietetyypistä riippuen: vähimmällä pääsivät mekaanisen käsittelyn ja kalkkisaostuksen lietteet ja eniten kuluttivat alumiinia sisältävät lietteet. Lietteen lahotus lisäsi ja kalkkistabilointi vähensi polyelektrolyyttien kulutusta lingoilla raakalietteen vastaavaan kulutukseen verrattuna. Suotonauhoilla olivat erot vähäisiä. Keskimääräinen polyelektrolyyttien kulutus koko aineistossa oli 2,8 kg/tTS. Lingot kuluttivat enemmän polyelektrolyyttejä kuin suotonauhat.

Kuivaustulos pelkillä kemiallisilla lietteillä oli useimmiten yli 20 % TS, mutta biologisia lietteitä sisältävissä sekalietteissä se jäi alle 20 %:n. Linkojen kuivaustulos oli muilla kuin kalkkistabiloiduilla lietteillä parempi kuin suotonauhoilla. Lahotettua lietettä oli vaikein kuivata kummallakin konetyypillä.

Kaikki kuivaimet, joita oli myyty useita kappaleita, toimivat laitoksilla jossakin suhteessa huonommin kuin takuuarvot antoivat odottaa. Erityisen usein takuuarvoista poikettiin kuivattaessa biologista lietettä sisältäviä sekalietteitä. Joka kolmas kuivain ei ollut täyttänyt takuuarvojaan, mikä osoittaa, ettei prosesseja vielä hallita riittävästi.

Kunnostustutkimuksia suoritettiin laboratoriossa 13 puhdistamon lietteille käyttäen 62 polyelektrolyyttiä. Tutkimukset tehtiin soveltaen COST 68 projektin suositusta. Kationiset polyelektrolyytit antoivat aina suurimman osan hyvistä kunnostustuloksista. Myös anionisia polyelektrolyyttejä voitiin käyttää kaikkein korkeimmilla pH-arvoilla ja hajanaisina havaintoina myös neutraaleilla lietteillä. Onnistuneen kunnostustuloksen antoivat lähes kaikissa tutkituissa tapauksissa Fennofloc K 744, Hercofloc 844 K ja 859 K, Praestol 423 K, 434 K ja 444 K sekä Zetag 92. Taloudellisinta vaihtoehtoa etsittäessä eivät mainitut polyelektrolyytit välttämättä riitä kokeiluihin, vaan optimiratkaisu löytyy muista halvemmista polyelektrolyyteistä.

Polyelektrolyyttiliuoksen laimentaminen paransi monissa tapauksissa kunnostustulosta ja näytti siten johtavan kustannussäästöihin, edellytyksenä on, että flokkauksen teho voidaan säätää pienemmäksi, polyelektrolyytin annostelupumppujen kapasiteetti riittää ja että kuivausta seurataan ja säädetään tarkoin.

Käytetty tutkimusmenetelmä osoittautui hyväksi etsittäessä sopivia polyelektrolyyttejä ja tutkittaessa kemikaalien annostelun, liuosten laimentamisen ja flokkauksen vaikutusta kunnostus- ja kuivaustulokseen. Täysimittaiset koeajot kuivaimilla ovat lisäksi välttämättömiä. Tutkimusmenetelmän käyttö rinnan laitoksen koeajojen kanssa auttaa ymmärtämään kunnostuksen ja kuivauksen monimutkaisia vuorovaikutussuhteita ja etsimään prosessien parannuskeinoja erityisesti suotonauhakuivaimilla. Puhdistamon kaikkien prosessien käyttäminen huolellisesti siten, että saadaan mahdollisimman hyvin kuivuva liete, on parannusten edellytys. Puhdistamonhoitajien koulutus, monipuolisten säätömahdollisuuksien järjestäminen ja kaikkien nestevirtojen jatkuva määrämittaus ovat niinikään välttämättömiä toimenpiteitä ryhdyttäessä pienentämään lietteen kuivauskustannuksia.

7. ENGLISH SUMMARY

This report presents investigations aimed at discovering the real cost data of mechanical sludge dewatering and other sludge treatment. The aim was also to test analytical methods developed for improving the operation and economy of conditioning and dewatering. One of the tasks was to provide cost data for the planning of sludge utilization. The investigations were originally financed by the Ministry of Trade and Industry and subsequently by the National Board of Waters.

Sludge treatment costs were collected from the literature and from an inquiry which covered the subscribers, consultants and companies supplying sludge treatment equipment. The cost data vary widely in the literature, which can be explained by local and time factors as well as differences in dimensioning methods and process-associated solutions. Costs of all treatment methods are higher than usually expected because the costs of process units should also contain parts of other building costs and of other general costs. Therefore, even cost functions presented in this publication should be considered as average minimum costs.

The investigation gave new information on the breakdown of costs. Labour costs and polyelectrolyte costs each represent an average of one third of total operating costs of mechanical dewatering. The proportion of labour costs is higher than expected. Total dewatering costs of the smallest waste water treatment plants (< 200 tTS/a) are 4 times higher than those of the biggest plants (> 1600 tTS/a), operating costs 3 times higher and capital costs 7 times higher. The promotion of sludge treatment and utilization requires lower dewatering costs in small units. Methods of cost-controll should also be developed in order to be able to carry out saving measures. The average operating costs of sludge dewatering in the whole material were 225 mk/tTS and capital costs 105 mk/tTS.

Investments in sludge treatment represented an average of 17 % of all waste water treatment plant investments. This proportion of investments in sludge treatment tends to grow as many treatment plants will probably have to complete their sludge treatment by sludge stabilization.

The table of standard prices drawn during the investigation seemed, according to the results, to be a fairly good estimate.

Daily quantities of unstabilized sludge per person equivalent (PE) were calculated for different waste water treatment methods from the inquiry and other material. Chemical sedimentation and direct chemical precipitation produced an average of 110-230 gTS/PE/d; sludge production in biological treatment remained as small as 60 gTS/PE/d; simultaneous precipitation produces 100 gTS/PE/d, and other biological-chemical treatment methods 90-180 gTS/PE/d.

One of the most important goals of the investigation was to collect operating experience on dewatering equipment. Interest in improving conditioning and dewatering is comprehensive and many investigations have been performed around the subject. High cake solids concentration, small polyelectrolyte consumption and clean centrate or filtrate were considered the main goals of conditioning and dewatering. However, it was often necessary to lower the cake solids concentration in order to keep the polyelectrolyte consumpiton within reasonable limits, make sludge loading of transport vehicles easier and not to pollute the centrate or filtrate too much.

Domestic dewatering equipment manufacturers proved successful in training, advisory and maintenance services. Operator training ought eventually to receive a little more attention. Dewatering equipment was considered satisfactory and suitable for those particular treatment plants where the equipment operated well.

Polyelectrolyte consumpiton varied with different kinds of sludges: the lowest consumpiton was found with sludges of primary treatment and lime precipitation, the highest consumption occurred with sludges containing aluminium precipitates. Compared with dewatering of unstabilized sludge, aerobic stabilization increased and lime stabilization decreased the polyelectrolyte consumpiton of centrifuges. The effect of stabilization on polyelectrolyte consumption was very small if the sludge was dewatered by belt presses. The average polyelectrolyte consumption of all material was 2.8 kg/tTS. Centrifuges used more polyelectrolytes than belt presses.

Cake solids in plain chemical sludges were mostly above 20 % TS but remained under 20 % with sludge combinations containing biological sludge. The dewatering results of centrifuging with other than lime stabilized sludge were better than those of belt presses. Both types of dewatering equipment proved equally unsuccessful in dewatering aerobically stabilized sludge.

All popular equipment operated somewhat worse in full scale practice than had been expected from guaranteed values. Sludge combinations containing biological sludge were often the cause of malfunction. At the time of the investigation , one third of all dewatering apparatus had not reached guaranteed values, which proves that the knowledge of process control is still insufficient.

Conditioning investigations were carried out in the laboratory for 13 treatment plant sludges using 62 polyelectrolytes. The method used was modified from the COST 68 recommendations. Cationic polyelectrolytes always gave most of the good conditioning results. Even anionic polyelectrolytes could be succesfully used in the highest pH values and in some scattered observations with neutral sludges. Successful conditioning with almost every investigated sludge was achieved by Fennofloc K 744, Hercofloc 844 K and 859 K, Praestol 423 K, 434 K and 444 K and Zetag 92. However, the economic optimum may often be found among other cheaper polyelectrolytes.

In many cases dilution of the polyelectrolyte solution improved the conditioning effect and seemed to lead to savings. However, this requires that the flocculation of sludge is adjustable to a smaller intensity, that the capacity of the polyelectrolyte solution pump is large enough and that dewatering is carefully followed and controlled.

The investigation method utilized proved effective in searching for suitable polyelectrolytes and studying the effects of dosage, dilution and flocculation on the conditioning and dewatering result. In addition, full-scale tests are always necessary. Using this method in parallel with full-scale on-site tests helps understanding of the complicated relationships between conditioning and dewatering parameters and helps looking after improvements of the process of belt presses in particular. Any improvements also require careful operation

of all other processes so that maximum dewaterability of sludge is achieved. Other means of minimizing sludge dewatering costs are training of treatment plant operators as well as arranging versatile regulating alternatives of processes and continuous measuring of all liguid flows.

K I R J A L L I S U U S L U E T T E L O

Autti, Markku, 1978. Vaihtoehtoisten viemäriveden käsittelyratkaisujen kustannusvertailu. Helsingin Teknillinen korkeakoulu, vesihuoltotekniikan lisensiaattiseminaari 8.5.1978.

COST-Project 68, 1975. Sewage Sludge Processing. Final Report of the Management Committee, Commission of the European Communities, November 1975.

EPA Oct. 1974. Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal. U.S. Env. Prot. Ag. Technology Transfer 625/1-74-006.

Eggink, H.J. 1974. Experience in Centrifugation of Sewage Sludges - Aspects of Performance and Reliability. 7th IAWPR Conference Paris 9-13.9.1974.

Flink, C-G. 1975. Stabiliseringsmetoder för kommunalt slam. Diplomarbete, Ingenjörbyrå Jord och Vatten Ab.

Hansen, J.A. 1978. Regional Slamhåndtering - planlaegningsmetoder og beslutningsgrundlag. Nordforsk, Miljövårdssekretariatet, Publikation 1978:1.

Hietavuori, I. 1977. Einestehtaan jätevesilietteen kunnostus- ja sentrifugointikustannusten optimoinnista. Diplomityö, Kemian osasto HTKK.

Hultman, R. 1976. Reaktorkompostering System Kneer. K 3 behandling av kommunalt avfall. Sammanställning av konferenser i samband med den internationella fackmässan AVFALL 76 i Jönköping 27.9.-1.10.1979.

Hökervall, E. 1975. Underhållskostnader. VAV-dag slamavvattning. Stockholm 25.11.1975.

Jätevesilietteen hyödyntämisen perusteet 1976. YVY-tutkimus 21, Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti, Helsinki 1976.

Laakio, R. 1976. Kokemuksia polyelektrolyyttien käytöstä lietteen käsittelyssä. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely, INSKO 81-75. Helsinki 1976.

Laakso, P. 1976. Gravitaatiotiivistys. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus R 4, 81-75, Helsinki 1976.

Lahti, R. 1976. Suotonauhapuristin. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely. INSKO 81-75. Helsinki 1976.

Lahtinen, M. 1976. Imusuodatus. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely, INSKO 81-75, Helsinki 1976.

Lietteen hyödyntämisen rahoitus ja organisointi, 1976. Lietetyöryhmän ehdotus, maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki, Syyskuu 1976.

Markkanen, T. 1975. Polymerkostnader vid avvattning av slam. Dirftsproblem vid avloppsreningsverk. Elfte Nordiska Symposiet om Vattenforskning. Nordforsk, Miljövårdssekretariatet,Publikation 1975:9.

Markkanen, T. 1976. Kammiosuodatin. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely, INSKO 81-75, Helsinki 1976.

Montonen, I. 1976. Flotaatiotiivistys. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely. INSKO 81-75, Helsinki 1976.

Nieminen, R. 1976. Lietteen lämpökuivaus ja poltto. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely. INSKO 81-75, Helsinki 1976.

Paulsrud, B. & THAULE, J. 1975. Avvanning av slam ved små renseanlegg. Kostnader for avvanning og transport av slam. Norsk Institutt for Vannforskning. 0-40/71 s. PRA 2.1.

Puolanne, J. 1978. Optimeringsexempel av avloppsvattenrenings- och slamhanteringsåtgärder med hjälp av ADB i Pujo kommun. Regional slamhantering-planlaegningsmetoder og beslutningsgrundlag. Nordforsk Miljövårdssekretariatet Publication 1978:1.

Puolanne, J. 1978. Tutkimuksia stabiloinnin vaikutuksista jätevesilietteen laatuun. Vesihallitus, tiedotus 162, Helsinki 1978.

Ramberg, O. Kunnallisen jätevesilietteen hyödyntämisestä sokerijuurikkaan viljelyn avulla Turun alueella. YVY esitutkimus EH-5:maaliskuu 1975.

Reimann, D. 1975. Betriebserfahrungen mit der Schlammentwässerung in Grosszentrifugen. 3. Europäisches Abwasser- und Abfallsymposium, München 9-12.6.1975.

Rennerfelt, J. 1972. Slamavvattningsapparatur, driftserfarenheter och kostnader. Åttonde Nordiska symposiet om vattenforskning. Kommunalt slam, Nordforsk Miljövårdssekretariatet Publikation 1972:3.

Salokangas, A. 1976. Aerobi stabilointi. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely. INSKO 81-75, Helsinki 1976.

Ulmgren, L. 1975. Tekniska lösningar för slambehandling. Behandling og jordbruksanvendelse av kommunalt kloakslam. Nordforsk Miljövårdssekretariatet, Publikation 1975:3.

Ulmgren, L. 1977. Teknisk-ekonomisk utvärdering av olika slambehandlingsalternativ. Ørrje & Co. Scandiaconsult, STU-rapport 76-4979.

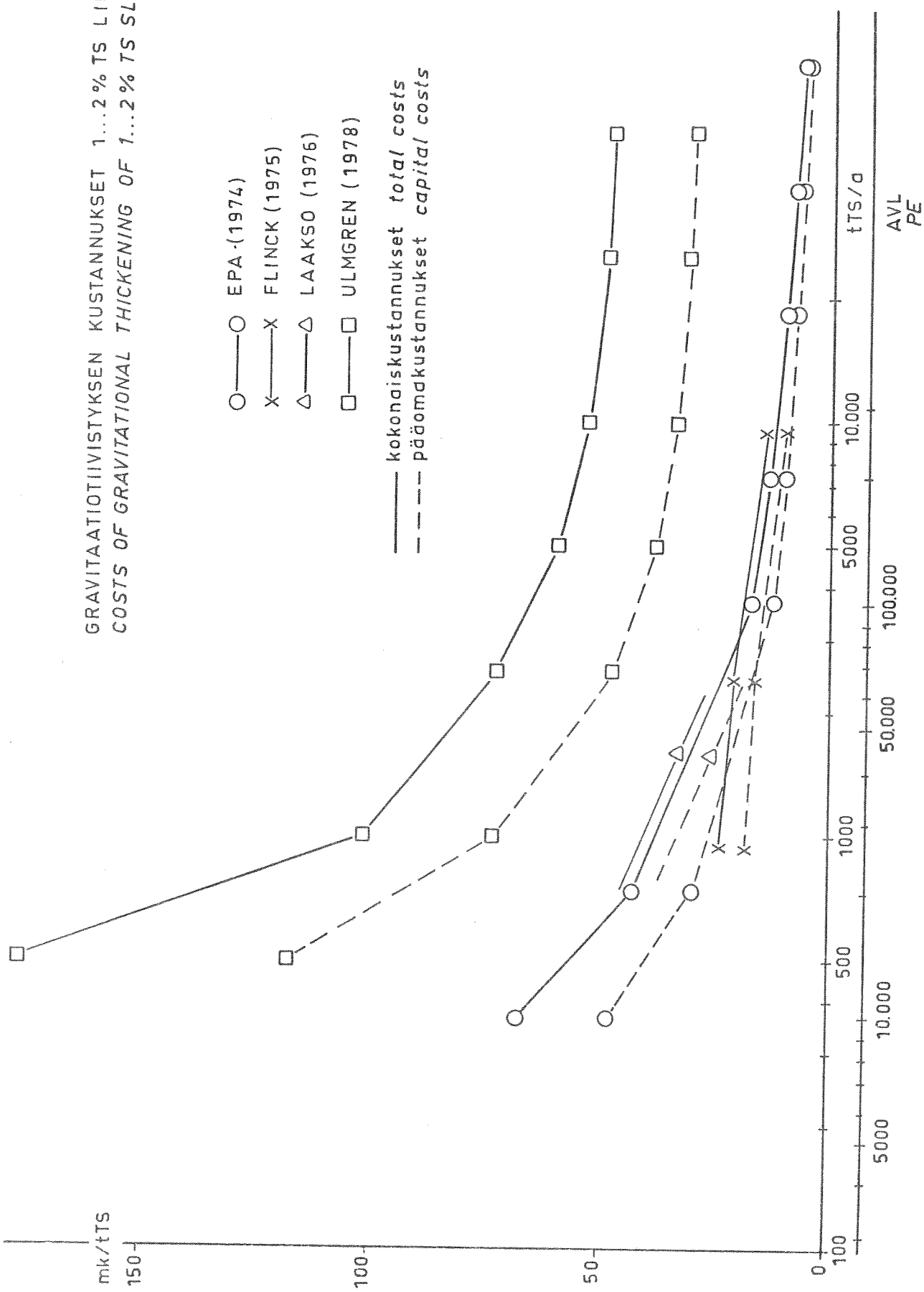
Vaittinen, P. 1976. Kalkkistabilointi. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely, INSKO 81-75, Helsinki 1976.

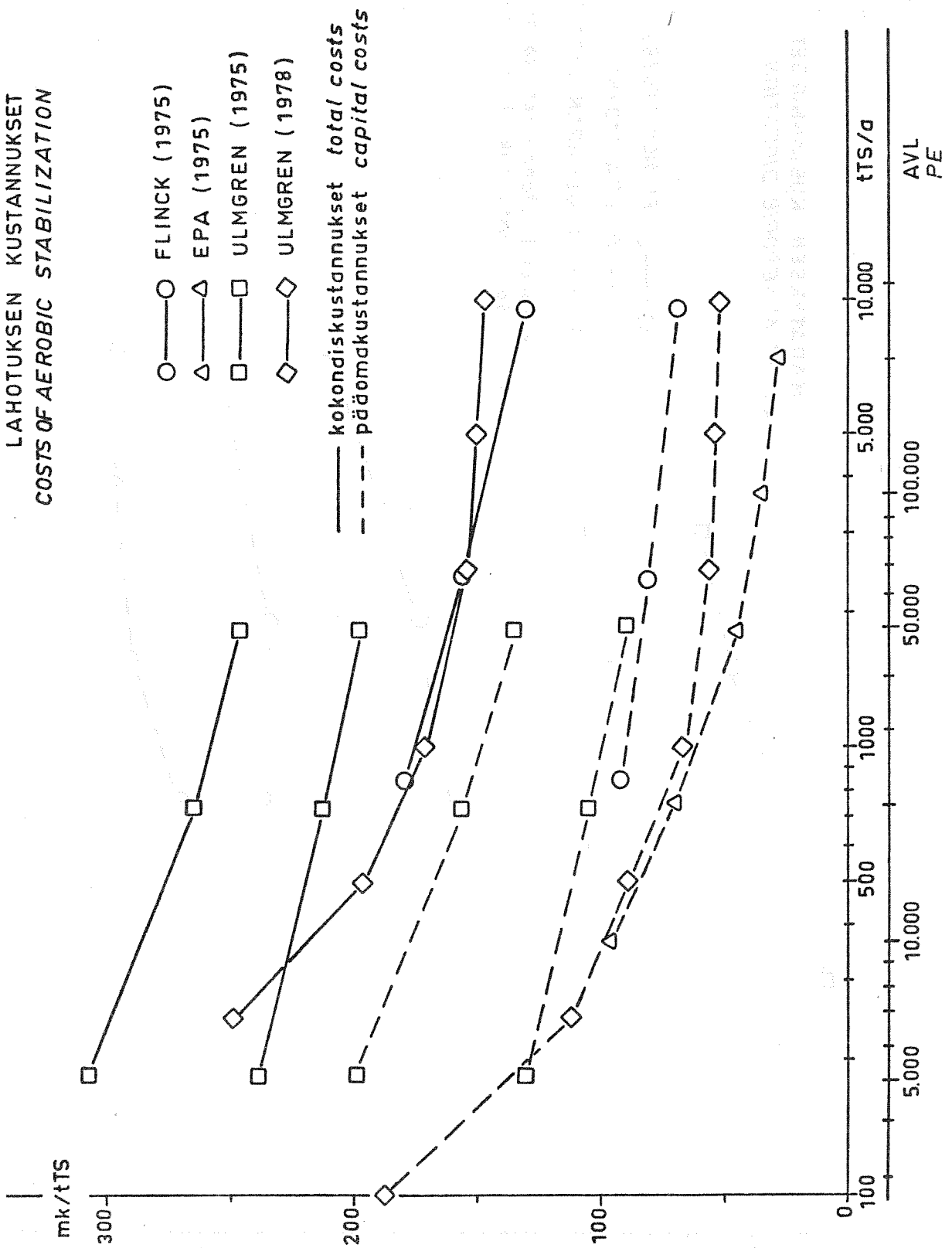
Vesihuollon taloudellisuus, 1975. YVY tutkimus 1, Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti, Helsinki 1975.

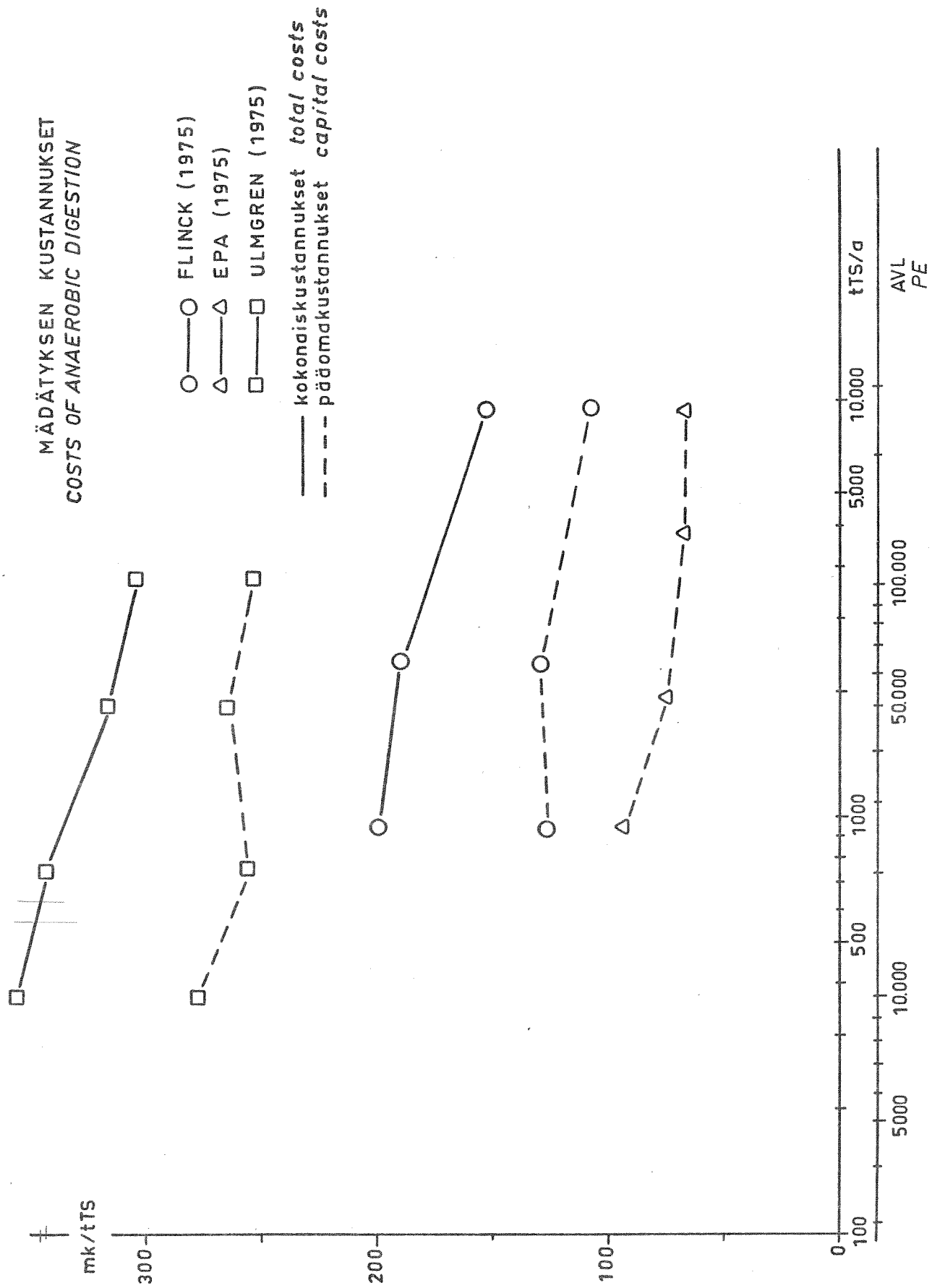
Vesihuoltolaitokset 31.12.1976, 1977. Vesihallitus, tiedotus 134, Helsinki 1977.

Viitasalo, I. 1975. Kirjallinen tiedonanto.

GRAVITAATIOTIIVISTYKSEN KUSTANNUKSET 1...2% TS LIETTEELLÄ
COSTS OF GRAVITATIONAL THICKENING OF 1...2% TS SLUDGE

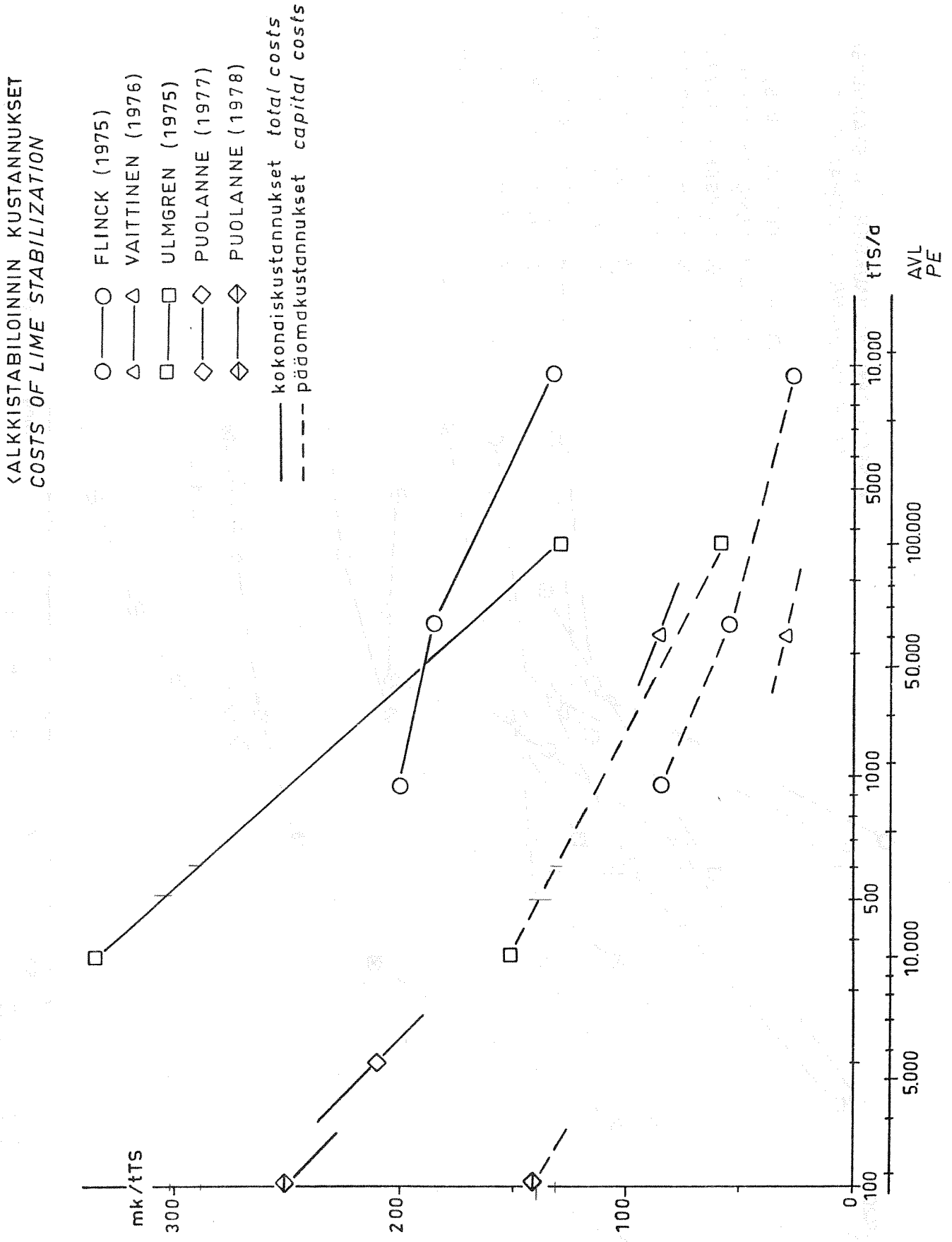


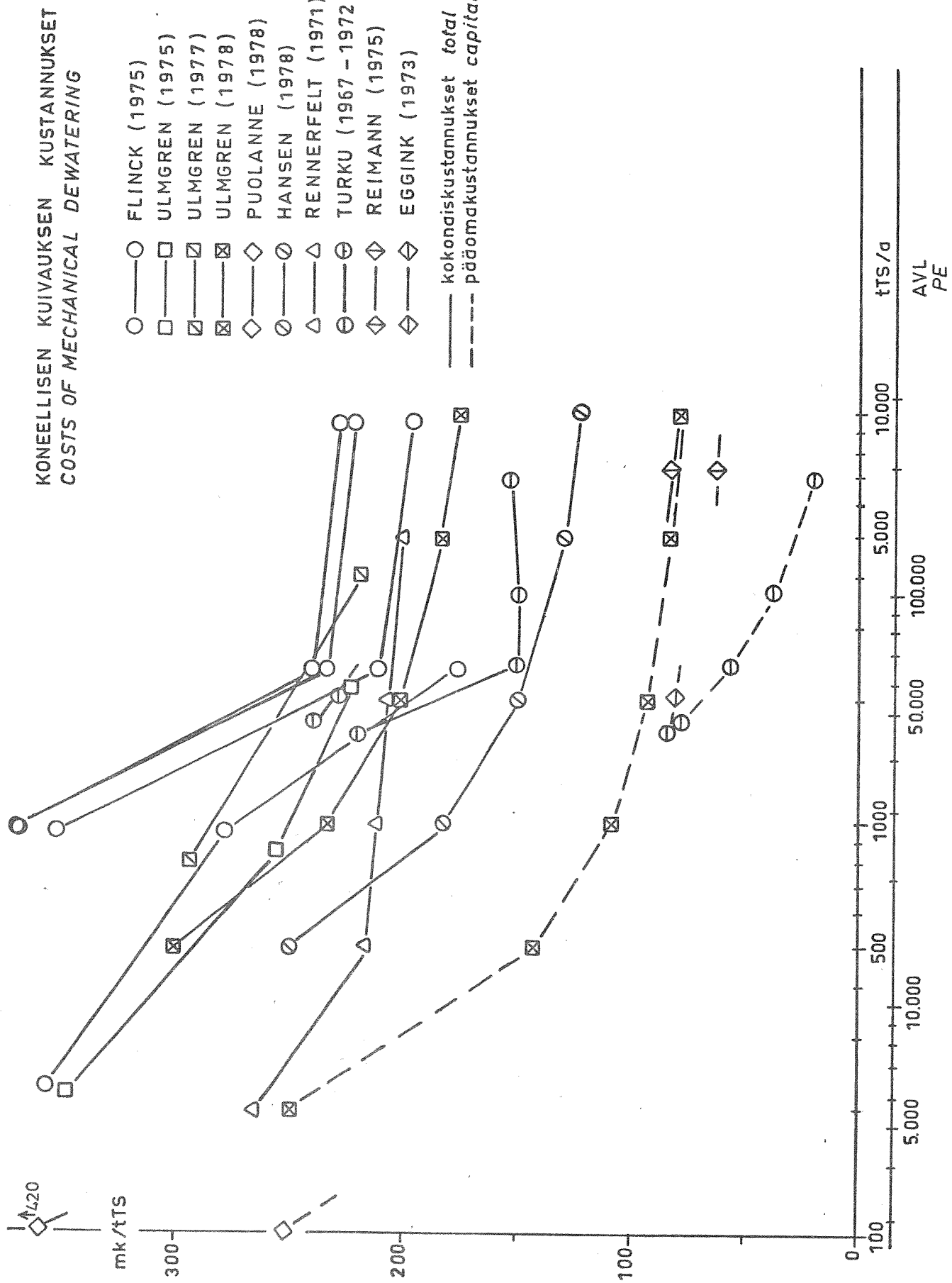

LAHOTUKSEN KUSTANNUKSET
COSTS OF AEROBIC STABILIZATION
FLINCK (1975)
EPA (1975)
ULMGREN (1975)
ULMGREN (1978)
kokonaiskustannukset total costs
pääomakustannukset capital costs
mk/tTS
300
200
100
0
100
5.000
10.000
500
1000
50.000
100.000
5.000
10.000
tTS/a
AVL
PE


MÄDÄTYKSEN KUSTANNUKSET
COSTS OF ANAEROBIC DIGESTION
FLINCK (1975)
EPA (1975)
ULMGREN (1975)
kokonaiskustannukset total costs
pääomakustannukset capital costs
mk/tTS
300
200
100
0
100
5000
10.000
500
1000
50.000
100.000
5.000
10.000
tTS/a
AVL
PE

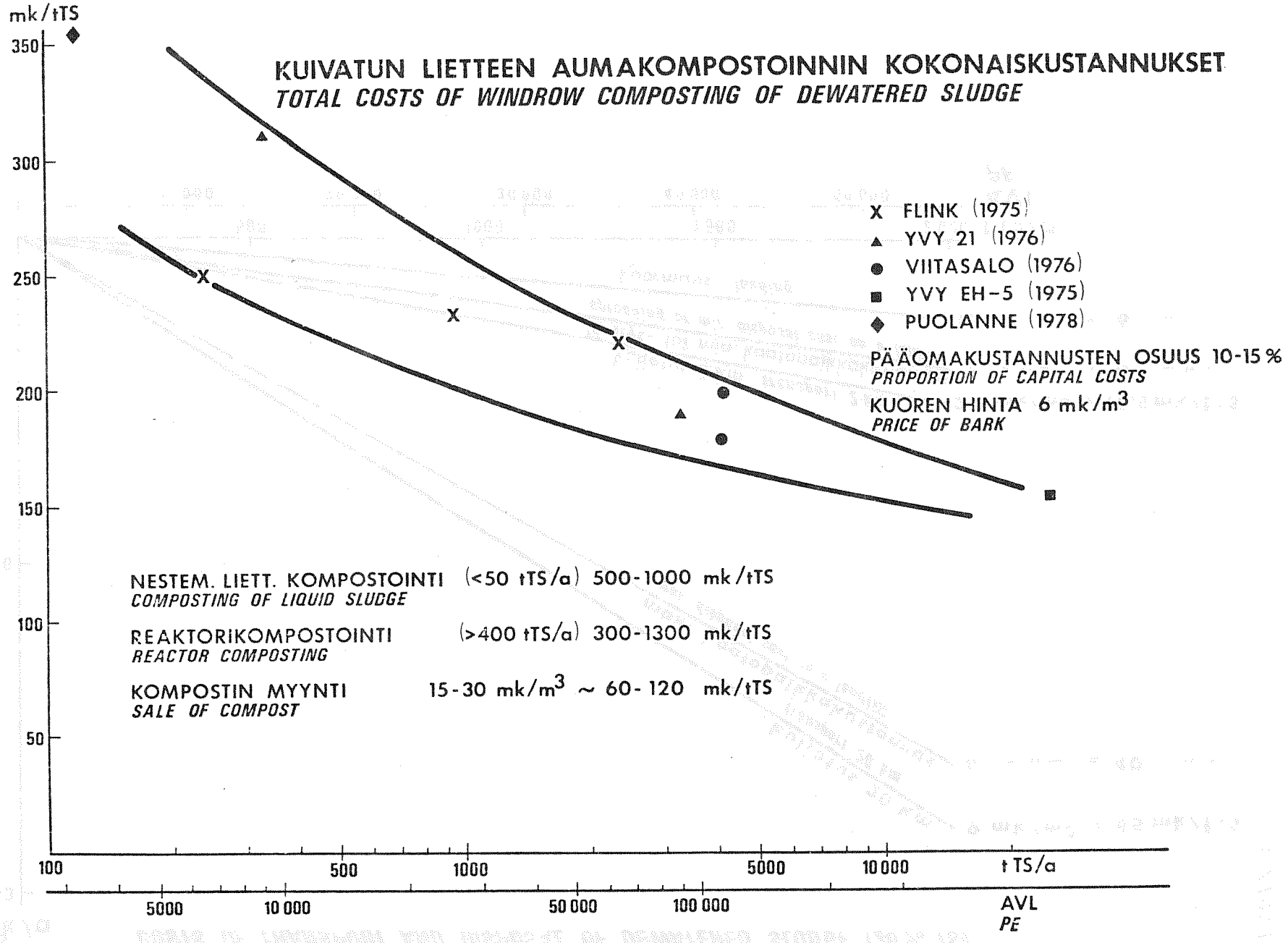
LIITE 4

APPENDIX 4

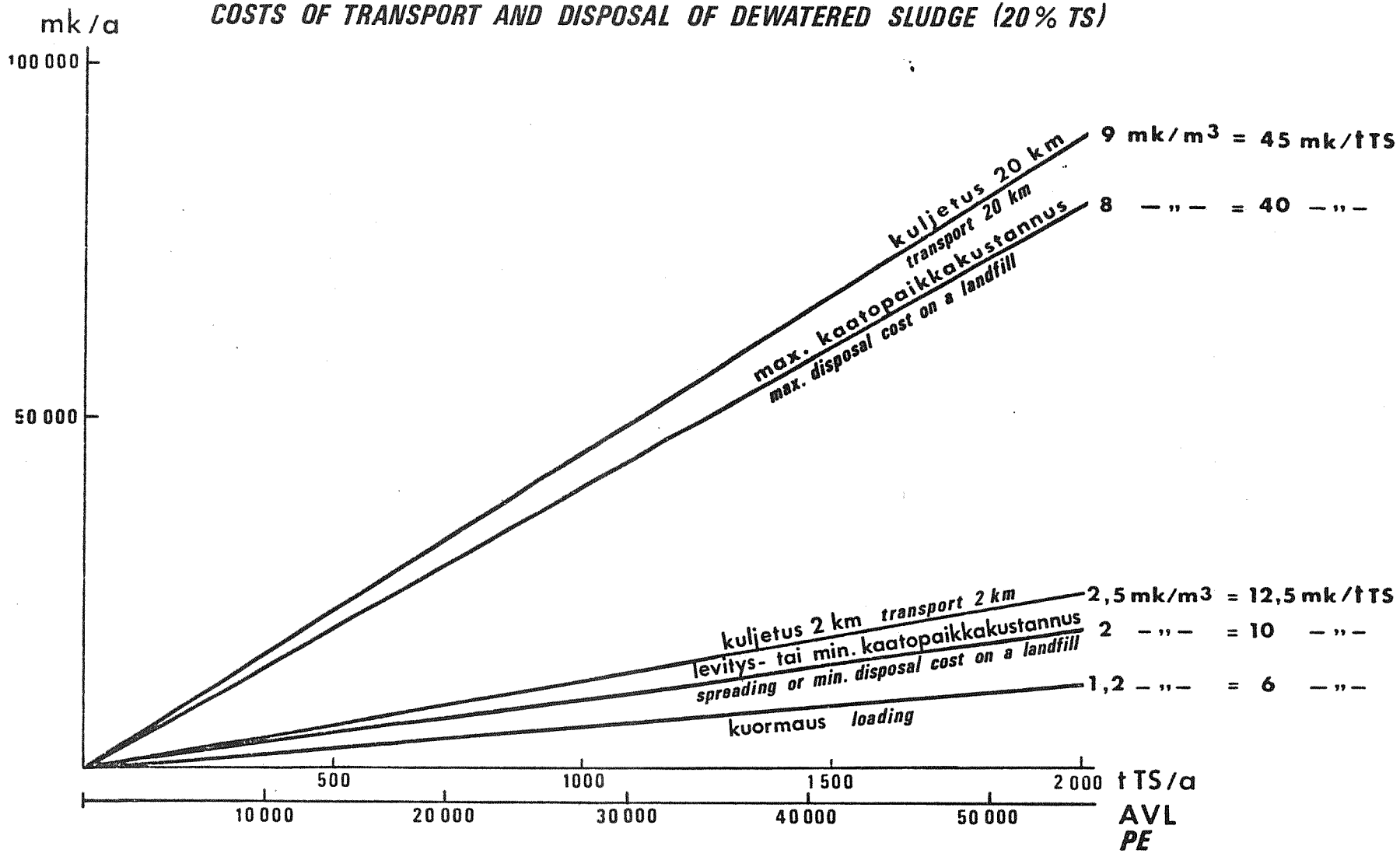



KONEELLISEN KUIVAUKSEN KUSTANNUKSET
COSTS OF MECHANICAL DEWATERING
FLINCK (1975)
ULMGREN (1975)
ULMGREN (1977)
ULMGREN (1978)
PUOLANNE (1978)
HANSEN (1978)
RENNERFELT (1971)
TURKU (1967-1972)
REIMANN (1975)
EGGINK (1973)
kokonaiskustannukset total costs
pääomakustannukset capital costs
mk/tTS
420
300
200
100
0
100
5.000
10.000
500
1000
50.000
100.000
5.000
10.000
tTS/a
AVL
PE

LIITE 6
Appendix 6

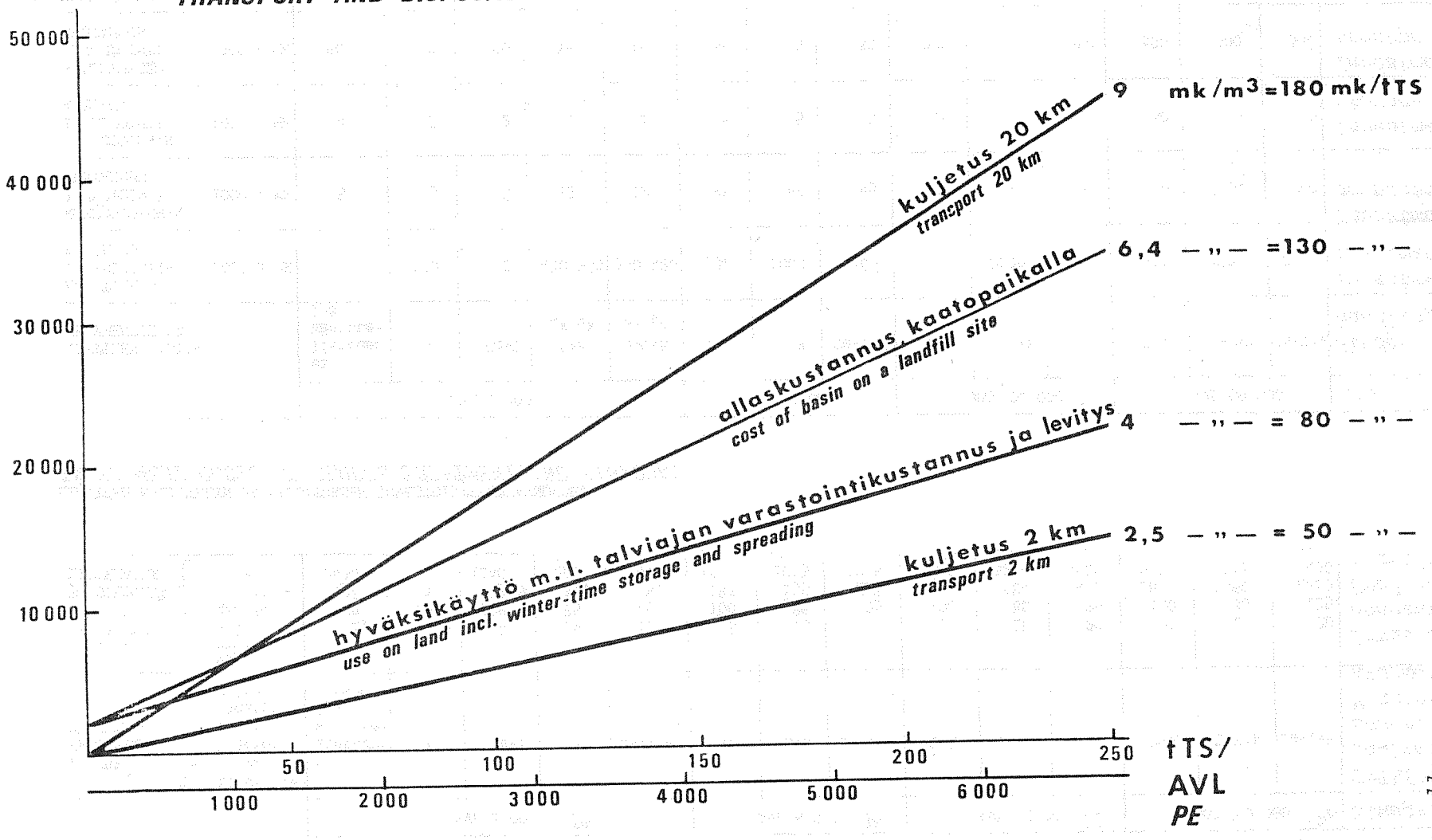


KUIVATUN LIETTEEN (20 % TS) SIIRTO- JA SIJOITUSKUSTANNUKSET
COSTS OF TRANSPORT AND DISPOSAL OF DEWATERED SLUDGE (20 % TS)



LIITE 8
Appendix 8

NESTEMÄISEN LIETTEEN (5 % TS) SIIRTO-JA SIJOITUSKUSTANNUKSET
TRANSPORT AND DISPOSAL COSTS OF LIQUID SLUDGE (5% TS)



VESIHALLITUS
vesihuoltotoimisto ja teknillinen tutkimustoimisto
H. Latostenmaa J. Puolanne
30.6.1977

LIETTEEN KÄSITTELYMENETELMÄVAIHTOEHDOT JA LIETTEEN MÄÄRÄT ERIKOKOISILLA JÄTEVEDENPUHDISTAMOILLA

SLUDGE TREATMENT ALTERNATIVES AND SLUDGE QUANTITIES AT VARIOUS WASTE WATER TREATMENT PLANT SIZES

		AVL 1 000 *PE*					AVL 5 000 *PE*			AVL 20 000 *PE*			AVL 50 000 *PE*			***Sludge treatment***
LIETTEEN KÄSITTELY-MENETELMÄ	T = tiivistys Ca= kalkkistabilointi L = lahotus M = mädätys K = kuivaus	ei lietteen käsittelyä *none*	L	Ca+T	L+K	Ca+T+K	T+K	L+K	Ca+T+K	T+K	T+M+K	Ca+T+K	T+K	T+M+K	Ca+T+K	*T=Thickening* *Ca=Lime stab.* *L=aer.stab.* *M=anaer.stab.* *K=dewatering*
KUIVA-AINE-PITOISUUS	YKSIKKÖ % TS	1,5	2,5	4	14	17	18	15	18	20	18	20	20	18	20	*Total solids concentration*
POISTETTAVA LIETEMÄÄRÄ	g/as/d	100	85	125	85	125	100	85	125	100	80	125	100	80	125	*Produced sludge quantity*
	t TS/a	36,5	31,0	45,6	31,0	45,6	183	155	228	730	584	912	1825	1460	2280	
	m^3/a	2430	1240	1140	221	268	1013	1033	1266	3650	3244	4560	9125	8111	11400	

LIETTEEN KÄSITTELYN JA SIJOITUKSEN INVESTOINTIKUSTANNUKSET

INVESTMENT COSTS OF SLUDGE TREATMENT AND DISPOSAL

LIETTEEN KÄSITTELYMENETELMÄ		AVL 1 000					AVL 5 000			AVL 20 000			AVL 50 000			HUOM.
		ei lietteen käsittelyä	L	Ca+T	L+K S^x K^x	Ca+T+K S^x K^x	T+K	L+K	Ca+T+K	T+K	T+M+K	Ca+T+K	T+K	T+M+K	Ca+T+K	*Sludge handling*
KÄSITTELYN INVESTOINTI-KUSTANNUS	1000 x MK	-	120	80	440 560	330 420	530	1000	700	950	2600	1300	1700	4800	2100	*Investment treatment*
KOMPOSTOINNIN INVESTOINTI-KUSTANNUS	1000 x MK	5	5	8	12	12	45	45	45	145	145	145	400	400	400	*Investment composting*
VARASTOINNIN INVESTOINTI-KUSTANNUS	1000 x MK	4	2	2	1	1	5	5	5	15	15	15	30	30	30	*Investment storage*
KULJETUKSEN INVESTOINTI-KUSTANNUS	1000 x MK	50	50	50	15	15	35	35	35	200	200	250	300	300	350	*Investment transport*
LEVITYKSEN INVESTOINTI-KUSTANNUS	1000 x MK	2	2	2	1	1	2	2	2	10	10	15	30	30	35	*Investment spreading*

^{x}S = Siirrettävä lietteenkuivain ^{x}K = Kiinteä lietteenkuivain
Mobile dewatering equipment *Solid dewatering equipment*

VESIHALLITUS
vesihuoltotoimisto ja teknillinen tutkimustoimisto
H. Latostenmaa J. Puolanne
30.6.1977

LIETTEEN KÄSITTELYN JA SIJOITUKSEN KÄYTTÖKUSTANNUKSET
OPERATING COSRS OF SLUDGE TREATMENT AND DISPOSAL

LIETTEEN KÄSITTELY-MENETELMÄ	YKSIKKÖ	AVL 1 000					AVL 5 000			AVL 20 000			AVL 50 000			
		ei käsitt.	L	Ca+T	L+K S^x K^x	Ca+T+K S^x K^x	T+K	L+K	Ca+T+K	T+K	T+M+K	Ca+T+K	T+K	T+M+K	Ca+T+K	*Sludge handling*
KÄSITTELYN KUSTANNUS	1000xMK/a	-	17	12	24 28	21 27	42	64	62	102	146	161	220	311	366	*Treatment costs*
	MK/t TS	-	550	260	770 900	460 590	230	350	270	140	250	180	120	210	160	
	MK/m³	-	14	11	109 127	78 101	42	62	49	28	45	35	24	38	32	
KOMPOSTOINNIN KUSTANNUS	1000xMK/a	131	67	62	8	9	34	35	43	124	110	155	310	276	388	*Composting*
	MK/t TS	3600	2160	1350	250	200	190	230	190	170	190	170	170	190	170	
	MK/m³	9	9	9	6	5,6	5,8	5,6	5,7	5,6	5,7	5,6	5,7	5,7	5,7	MK/m³ valmista seosta / *MK/m³ of compost prod.*
VARASTOINNIN KUSTANNUS	1000xMK/a	3,6	1,9	1,7	0,3	0,4	1,5	1,5	1,9	5,4	4,9	6,8	14,0	12,0	17	*Storage*
	MK/t TS	99	61	37	10	9	8	10	8	7	8	7	8	8	7	
	MK/m³	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
KULJETUKSEN KUSTANNUS																*Transport*
2 KM	1000xMK/a	15	7	7	1,1	1,3	5,0	5,2	6,3	18	16	23	46	41	57	
	MK/t TS	410	225	187	35	29	27	34	28	25	27	25	25	28	25	
	MK/m³	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
5 KM	1000xMK/a	19	10	9	1,4	1,7	6,6	6,7	8,2	24	21	30	59	53	74	
	MK/t TS	520	322	197	45	37	36	43	36	33	36	33	32	36	32	
	MK/m³	8	8	8	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	
10 KM	1000xMK/a	24	12	11	1,7	2,1	8,1	8,3	10,0	29	26	36	73	65	91	
	MK/t TS	658	387	241	54	46	44	53	44	40	45	39	40	45	40	
	MK/m³	10	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
LEVITYKSEN KUSTANNUS	1000xMK/a	4,9	1,5	1,3	0,4	0,5	2	2	2,5	7	6	9	18	16	23	*Spreading*
	MK/t TS	134	48	29	13	11	11	13	11	10	10	10	10	11	10	
	MK/m³	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

^{x}S = Siirrettävä lietteenkuivain *Mobile dewatering equipment*

^{x}K = Kiinteä " *Solid dewatering equipment*

VESIHALLITUS
vesihuoltotoimisto ja teknillinen tutkimustoimisto
H. Latostenmaa J. Puolanne
30.6.1977

LIETTEEN KÄSITTELYN JA SIJOITUKSEN VUOTUISKUSTANNUKSET (INVESTOINTIKUST. + KÄYTTÖKUST.)
ANNUAL SLUDGE TREATMENT AND DISPOSAL COSTS (CAPITAL+OPERATING)

LIETTEEN KÄSITTELY-MENETELMÄ	YKSIKKÖ	AVL 1 000 *PE*					AVL 5 000 *PE*			AVL 20 000 *PE*			AVL 50 000 *PE*			
		ei käsitt.	L	Ca+T	L+K S^x K^x	Ca+T+K S^x K^x	T+K	L+K	Ca+T+K	T+K	T+M+K	Ca+T+K	T+K	T+M+K	Ca+T+K	*Sludge handling*
KÄSITTELYN KUSTANNUS	1000xMK/a	-	31	22	78 96	61 77	70	185	146	219	460	314	421	878	622	*Treatment*
	MK/t TS	-	1000	482	2520 3100	1340 1690	383	1194	640	300	788	344	231	601	273	
	MK/m³	-	25	19	353 435	228 287	69	179	115	60	141	69	46	108	55	
KOMPOSTOINNIN KUSTANNUS	1000xMK/a	131	68	63	9	10	39	40	48	141	127	172	358	324	436	*Composting*
	MK/t TS	3600	2190	1380	290	219	213	258	211	193	217	189	196	222	191	
	MK/m³	9,0	9,1	9,2	6,8	6,2	6,4	6,5	6,3	6,4	6,5	6,3	6,5	6,7	6,4	MK/m³ valmista seosta — *MK/m³ of compost prod.*
VARASTOINNIN KUSTANNUS	1000xMK/a	4,1	2,1	1,9	0,4	0,5	2,1	2,1	2,5	7,2	6,7	8,6	17,6	15,6	20,6	*Storage*
	MK/t TS	112	68	42	13	11	11	14	11	10	11	9,4	9,6	11	9	
	MK/m³	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	1,9	1,9	1,9	1,8	
KULJETUKSEN KUSTANNUS																*Transport*
2 KM	1000xMK/a	21	13	13	2,9	3,1	9,2	9,4	10,5	42	40	47	82	77	93	
	MK/t TS	575	419	285	94	68	50	61	46	58	31	52	45	53	41	
	MK/m³	8,6	10,5	11,4	13	11,6	9	9	8,3	11,5	12	10	9	9,5	8	
5 KM	1000xMK/a	25	16	14	3,2	3,5	10,8	10,9	12,4	48	45	54	95	89	110	
	MK/t TS	684	516	307	103	78	59	70	54	66	77	59	52	61	48	
	MK/m³	10,3	13	12,3	14,5	13	11	11	10	13	14	12	10	11	10	
10 KM	1000xMK/a	30	18	17	3,5	3,9	12,3	12,5	14,2	53	50	60	109	101	127	
	MK/t TS	822	580	373	113	86	67	81	62	73	86	66	60	69	56	
	MK/m³	12,3	14,5	15	16	15	12	12	11	15	15	13	12	12	11	
LEVITYKSEN KUSTANNUS	1000xMK/a	5,1	1,7	1,5	0,5	0,6	2,2	2,2	2,7	9,4	8,4	17,4	21,6	19,6	27,2	*Spreading*
	MK/t TS	140	55	33	16	13	12	14	17	13	14	19	12	13	12	
	MK/m³	2,1	1,4	1,3	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,6	2,6	3,8	2,4	2,4	2,4	

^{x}S = Siirrettävä lietteenkuivain — *Mobile dewatering equipment*

^{x}K = Kiinteä " — *Solid dewatering equipment*

LIITTEEN KONEELLISEN KUIVAUKSEN TUTKIMUS
INVESTIGATION ON MECHANICAL DEWATERING OF SLUDGE

N:o *Nr*	Kunta *Municipality*	Puhdistamo *Treatment Plant*
01	Juupajoki	
02	Kontiolahti	varuskunta
03	Janakkala	Tervakoski
04	Pirkkala	Loukonlahti
05	Vöyri	
06	Perniö	
07	Laitila	
08	Teuva	
09	Uusikaarlepyy	
10	Sahalahti	
11	Jokioinen	
12	Pohja	
13	Laukaa	
14	Siilinjärvi	Jynkänniemi
15	Kiuruvesi	
16	Sotkamo	
17	Karkkila	
18	Kauhajoki	
19	Porvoon mlk	Hermansö
20	Janakkala	Turenki
21	Elimäki	Koria
22	Valkeala	Vekarajärvi
23	Pirkkala	Kyösti
24	Huittinen	
25	Piikkiö	
26	Lapinlahti	
27	Orivesi	keskustaajama
28	Lohjan mlk	Peltoniemi
29	Eura	
30	Pori	Pihlava
31	Vihti	Nummela
32	Kirkkonummi	
33	Lieksa	
34	Vammala	
35	Kurikka	
36	Hyvinkää	Hyyppärä
37	Loviisa	
38	Karjaa	
39	Joutseno	
40	Hollola	Salpakangas
41	Toijala	
42	Mänttä	
43	Hyvinkää	Martti
44	Loimaa	
45	Parainen	
46	Järvenpää	
47	Naantali	
48	Iisalmi	
49	Pieksämäki	
50	Raisio	
51	Kaarina	
52	Porvoo	kaupunki
53	Heinola	
54	Nokia	Kullaanvuori
55	Tampere	Rahola
56	Uusikaupunki	
57	Lappeenranta	
58	Rauma	
59	Lohja	kaupunki
60	Valkeakoski	
61	Kouvola	
62	Varkaus	
63	Riihimäki	
64	Kajaani	
65	Forssa	
66	Joensuu	
67	Mikkeli	
68	Seinäjoki	
69	Helsinki	Herttoniemi
70	Hämeenlinna	
71	Helsinki	Tali
72	Espoo	Suomenoja
73	Jyväskylä	kaupunki
74	Kuopio	
75 1	Helsinki	Vuosaari
75 2	Helsinki	Vuosaari
75 3	Helsinki	Vuosaari
76	Lahti	Kariniemi
77	Pori	Keskuspuhdistamo
78	Helsinki	Viikki
79	Oulu	
80	Turku	
81 1	Tampere	Viinikanlahti
81 2	Tampere	Viinikanlahti
81 3	Tampere	Viinikanlahti
82 1	Helsinki	Kyläsaari
82 2	Helsinki	Kyläsaari
82 3	Helsinki	Kyläsaari
82 4	Helsinki	Kyläsaari

LIETTEEN KONEELLISEN KUIVAUKSEN TUTKIMUS

1. Puhdistamo

Nimi:
Tyyppi:
Mitoitusvirtaama:
Asukasvastineluku:
Keskim. vrk-virtaama:
Liittyjämäärä:
Toimivuusluokka:
Lietteen poistokohta:
Rejektin palautuskohta:

2. Kuivauskustannukset

2.1 Investoinnit

	Kuol.aika	Korko%	Summa	Valm.vuosi
Kuivaamorakennus				
Kuivain				
Pumput, putkistot, kemik.laitteet				
Muu lietteenkäsittely				
Tiivistys, rakenteet				
" , koneistot				
Stabilointi, rakenteet				
" , koneistot				
Jatkokäsittely, rakenteet				
" , koneistot				
Koko jätevedenpuhdistamo, rakenteet				
" " , koneistot				

2.2 Käyttökulut (ilman pääomakuluja)

	Vuosi	Määrä	Yks. kust.	Vuosi	Määrä	Yks. kust.
Polyelketrolyytti, tyyppi _____						
_____						
_____						
Muut kemikaalit _____						
_____						
_____						
Vesi						
Energia						
Huolto						
Korjaukset						
Käyttäjän palkka						
Käyttötuntimäärä			h			h

3. Kunnostus

3.1 Polyelektrolyytin valinta

Valinnassa käytetty

A laboratoriokokeita, suoritettu
- a) itse ☐
- b) suunnittelijan toimesta ☐
- c) polyel.myyjän " ☐
- d) kuivaimen myyjän " ☐
- e) urakoitsijan " ☐
- f) _____ toimesta ☐

laboratoriokokeissa käytetty
- a) laskeuttamiskoetta ☐
- b) muuta, mitä ☐

_____

_____

B kuivaimen koeajoja, suoritettu
- a) itse ☐
- b) suunnittelijan toimesta ☐
- c) kuivaimen myyjän " ☐
- d) urakoitsijan " ☐
- e) _____ toimesta ☐

3.2 Polyelektrolyytin syöttö

Syötön järjestelyt
- a) vain yksi syöttökohta ☐
- b) useita eri vaihtoehtoja, joita ei ole kokeiltu ☐
- c) kokeiltu useita vaihtoehtoja ☐

Syöttöväkevyys _____

- Polyelektrolyytti laimennetaan valmiiksi liuosastiaan ☐
- Laimennusvesi lisätään polyelektrolyytin syöttöputkeen ☐
- Laimennusvesi lisätään muualle, _____ ☐
- Polyelektrolyytin ja lietteen syöttöä säädetään päivittäin ☐
- Polyelektrolyytin ja lietteen syöttöä säädetään lietteen laadun vaihteluiden mukaan ☐

4. Kuivain

Merkki ja malli _____

_____

Lukumäärä _____

4.1 Kuivaimen säädöt

Kuivaimen säätöjen ensisijaisena tavoiteena on

a) kuiva kakku ☐
b) pieni polyel. kulutus ☐
c) puhdas rejekti ☐
d) hyvä erotusaste ☐
e) muu syy, _____ ☐

_____

Kuivainta ajetaan siten, että saadaan mahdollisimman kuiva kakku ☐

Kakun kuiva-ainepitoisuudesta tingitään, koska

a) polyel. kulutus kasvaa ☐
b) rejektin laatu heikkenee ☐
c) lietteen kuormaus vaikeutuu ☐
d) lietteen levitys vaikeutuu ☐
e) kuivaimen jatkuva säätäminen on hankalaa ☐
f) koneen käyttö vaikeutuu, koska _____ ☐

_____

4.2 Kuivaimen käyttö

	kiitettävä				huono
Myyjän antama kuivaimen käytön koulutus on	☐	☐	☐	☐	☐
Myyjän antama neuvonta on	☐	☐	☐	☐	☐
Myyjän antama huolto on	☐	☐	☐	☐	☐

Vaatiiko kuivaimen käyttöönotto muiden lietteenkäsittely-yksiköiden toiminnan muuttamista? Mitä toimenpiteitä? _____

_____

_____

	erinom.				huonosti
Kuivain sopii laitoksen lietteelle	☐	☐	☐	☐	☐

	erinom.				huonot
Kuivaimen säätömahdollisuudet	☐	☐	☐	☐	☐

Koneen toiminta-arvoja säädetään

a) jatkuvasti ☐
b) kerran päivässä ☐
c) harvemmin ☐

5. Takuuarvot

	Takuu	Takuukokeet	Jatk.käyttö
Syötön sakeus (%)			
Kapasiteetti (m^3/h/kg TS/h)			
Kakun kuiva-aine %			
Polyel. kulutus kg/tn TS			
Rejektin kiintoaine mg/l			
Erotusaste %			

Kuivain

a) täytti takuuarvot sovittuna aikana ☐
b) täytti takuuarvot myöhemmin ☐
c) ei ole täyttänyt takuuarvoja ☐

Mitä erityistoimenpiteitä jouduttiin tekemään, jotta kuivain täytti takuut? _____

_____

_____

V E S I H A L L I T U S
vesientutkimuslaitos
teknillinen tutkimustoimisto

L I E T T E E N K O N E E L L I S E N K U I V A U K S E N T U T K I M U S

1 _____ kunta / puhdistamo

	MITOITUS-VIRTAAMA m^3/d	ASUKASVASTINE-LUKU	PUHD. TYYPPI	SAOSTUS KEM. 1.	SAOSTUS KEM. 2.	TOIMIVUUS-LUOKKA BHK7	TOIMIVUUS-LUOKKA P
1	2	3	4	5	6	7	8

	KESKIM. VIRTAAMA m^3/d	LIITTYJÄ-MÄÄRÄ AVL	LIETE Q	LIETE AVL	LIETE (• TS / a) puhd.k.	MÄÄRÄ laskettu	MÄÄRÄ polyel.	MÄÄRÄ (LQ•TS)/2	STABILOINTIKEMIKAALIT laatu	STABILOINTIKEMIKAALIT määrä t/a	STABILOINTIKEMIKAALIT kustannukset mk/a
1975	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1976	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

	POLYELEKTROLYYTIT nimi a	POLYELEKTROLYYTIT nimi b	POLYELEKTROLYYTIT nimi c	POLYELEKTROLYYTIT tyyppi a	POLYELEKTROLYYTIT tyyppi b	POLYELEKTROLYYTIT tyyppi c	POLYELEKTROLYYTIT kulutus kg/a	POLYELEKTROLYYTIT kust. 100mk/a	MUUT KEMIKAALIT nimi	MUUT KEMIKAALIT kust. 100mk/a	VESI p/m^3	VESI 100mk/a	ENERGIA p/kWh	ENERGIA 100mk/a	HUOLTO • KORJAUS tuntia	HUOLTO • KORJAUS 100mk/a	PALKKAMENOT tuntia	PALKKAMENOT 100mk/a	KÄYTTÖ-TUNNIT h/a
1975	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
1976	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88

havaintotunnu

INVESTOINTIKUSTANNUKSET (1000 mk/a)

KOKO PUHDISTAMO

rak. vuosi (89) | rakenteet (90) | koneistot (91) | yhteensä (92)

LIETTEEN KÄSITTELY

koneisto (93) | t men. (94) | t til. m3 (95) | v rak. (96) | s kon. (97) | t yht. (98) | s men. (99) | s tilav. m3 (100) | l rak. (101) | i kon. (102) | t yht. (103)

k men. (104) | u rak. (105) | i kuivain (106) | a varusteet (107) | s kon.yht. (108) | j men. (109) | a til.m3 (110) | t rak. (111) | k kon. (112) | o yht. (113)

POLYELEKTROLYYTIN VALINTA

laboratoriokokeet: suoritettu a (114) b (115) c (116) d (117) e (118); käytetty a (119) b (120) c (121)

kuivaimen koeajot: a (122) b (123) c (124) d (125) e (126)

POLYELEKTROLYYTIN SYÖTTÖ

järjestely (127) | väkevyys a (128) b (129) | toimlnta (130) | a (131) b (132) c (133) d (134) e (135)

KUIVAIN

merkki & malli (136) | lkm (137)

KUIVAIMEN ENSISIJAINEN TAVOITE

a (138) b (139) c (140) d (141) e (142) f (143) g (144) h (145) (146)

KAKUN KUIVA-AINEPIT. TINGINTÄ

a (147) b (148) c (149) d (150) e (151) f (152) g (153) h (154)

KUIVAIMEN KÄYTTÖ

koulutus (155) | neuvonta (156) | huolto (157) | sopivuus lietteelle (158) | säätömahd. (159) | toiminta-arvojen säätö: a (160) b (161) c (162) d (163)

TAKUU ...

SYÖTÖN SAKEUS (0.1 %): takuu (164) | t.koe (165) | käyttö (166)

KAPASITEETTI (0.1 m3/h): takuu (167) | t.koe (168) | käyttö (169)

KAPASITEETTI KONETTA KOHTI (kg TS/h)

takuu (170) | t.koe (171) | käyttö (172)

KAKUN KUIVA-AINE (%)

takuu (173) | t.koe (174) | käyttö (175)

POLYEL. KULUTUS (0.1 kg/t TS)

takuu (176) | t.koe (177) | käyt. (178)

REJEKTIN SS (mg/l)

takuu (179) | t.koe (180) | käyttö (181)

EROTUSASTE (%)

takuu (182) | t.koe (183) | käyttö (184)

LISÄTIETOJA

a (185) b (186) c (187) d (188) e (189) f (190)

LABORATORIOTUTKIMUKSISSA KÄYTETYT POLYELEKTROLYYTIT

Polyelectrolytes used in laboratory experiments

Bozefloc	C45
	C65
	C68
Fennofloc	K105
	K205
	A210
	K210
	A270
	A280
	A320
	N500
	A510
	A520
	A530
	K744
Flocbel	FC10
	FC15
	FC170H
	FC190
Flocogil	C4
	AD37
Hercofloc	810,3K
	812
	813
	814
	816,2
	824,3N
	826,2A
	829,3N
	829,3K
	829,8K
	831,2A
	844K
	859K
Magnafloc	E24
	139
	140
	155
	156
	157
	292
	351
	352
	455
	3105
	3115
	3125
Praestol	114/74
	421
	423K
	434K
	444K
	A751
	2820
	2830/74
	2900/74
	2935/74
	2935/75
	3000/74
Sepidur	TF 5 Fest
Zetag	43
	92

Matti Ettala

JÄTEVESILIETTEEN KÄSITTELYVAIHTOEHDOISTA HELSINGIN VESIPIIRIN ALUEELLA

ENGLISH SUMMARY: Alternative Treatment Methods for Waste Water Sludge in the Helsinki Water District

JÄTEVESILIETTEEN KÄSITTELYVAIHTOEHDOISTA HELSINGIN VESIPIIRIN ALUEELLA

SISÄLLYS

1. J O H D A N T O

Lietteen käsittelyn osuus koko puhdistamon pääomakustannuksista saattaa olla yli 30 % ja käyttökustannuksista jopa puolet. Lietteen kuljetus ja sijoittaminen nostavat lietteen aiheuttamien kustannusten osuutta entisestään. Näin ratkaisevasta kustannustekijästä on kirjallisuudessa kuitenkin suhteellisen vähän tietoa.

Helsingin vesipiirissä laadittiin vuonna 1978 jätevesilietteen hyväksikäytön yleissuunnitelma, jonka tärkeimpänä tehtävänä oli laatia puhdistamokohtaiset toimenpide-ehdotukset lietteen hyödyntämisedellytysten parantamiseksi. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi oli tutkittava mm. lietteen arvoa sekä eri vaihtoehtojen käsittely- ja kuljetuskustannusten muodostumista.

Tässä osassa on esitetty lyhyesti tuloksia lietteen käyttöön liittyvistä kustannuksista sekä lietteen hyödyntämismahdollisuuksista Helsingin vesipiirin alueella.

2. JÄTEVESILIETTEEN KÄYTÖN TALOUDELLISUUDESTA

2.1 LIETTEEN KÄYTÖN TALOUDELLISUUDEN TAUSTAA

Lietteen hyödyntämisestä aiheutuvan lisäkustannuksen suuruutta laskettaessa on hyödyntämisen kokonaiskustannuksista vähennettävä vaihtoehtoisesta lietteen käsittelystä ja sijoittamisesta aiheutuvat kustannukset. Kaatopaikkakustannuksen suuruudeksi on arvioitu 2...8 mk/m^3 (vesihallitus 1977). Lisäksi kuljetusmatka kaatopaikalle on yleensä pitempi kuin käytettäessä liete hyödyksi.

Lietteen hyödyntäminen onkin tavallisesti edullisempaa kuin sen kuljettaminen kaatopaikalle. Sen käytöllä vältettävän väkilannoitekustannuksen suuruudella ja kehityksellä on lietteen käyttäjän kannalta oleellinen merkitys. 1970-luvulla väkilannoitteiden reaalinen hinta on noussut voimakkaasti. Vuonna 1977 lannoitteiden osuus maatalouden tuotantokustannuksista oli 16 % (Iisakkila 1978). Lisäksi lietteen hyödyntämisellä on etuja, joiden rahallista arvoa ei voida laskea.

Jätevesilietteen rahallinen arvo voidaan arvioida sen sisältämien ravinteiden, hivenaineiden sekä orgaanisen aineen perusteella. Orgaanisen aineen tarve korostuu karjattomaan maatalouteen siirtymisen myötä.

Helsingin vesipiirin alueella olevien 30 jätevedenpuhdistamon lieteanalyysien perusteella laskettiin lietteen arvo kalsiumin ja pääravinteiden, typen, fosforin ja kaliumin osalta. Ravinteet muutettiin vastaamaan oulunsalpietaria, superfosfaattia, kalkkikivijauhetta ja 60 % kalisuolaa. Ravinnemääriä verrattiin sitten lannoitteiden kesän 1978 hintoihin kuitenkin siten, että ravinteista otettiin huomioon vain helppoliukoiset määrät: typestä 1/3, fosforista 1/2 ja kaliumista ja kalsiumista koko määrä. Lietteen keskimääräiseksi arvoksi saatiin:

- kuivattu liete	136 mk/t	TS,	27 mk/m^3
- nestemäinen liete	99 -"-		4 -"-

- liete keskimäärin 123 mk/t TS,

Täsmällistä rahallista arvoa ei voida laskea, sillä lietteen maanparannus- ja humusvaikutuksen arvoa sekä sen vaikutusta vesiin ei voida tarkasti määrittää. Jansson (1963) on arvioinut lietteen humusvaikutuksen kaksinkertaistavan lietteen arvon, jolloin kuivatun lietteen keskimääräinenkin arvo olisi 50 mk/m^3.

Jätevesilietteellä on siten paikallisesti suurta yksityistaloudellista merkitystä, mutta sen kansantaloudellinen arvo on sensijaan pieni. Helsingin vesipiirin alueen koko lietemäärän arvo on ravinteiden mukaan laskettuna noin 5 800 000 mk, josta kaatopaikalle ajetun lietteen osuus on noin 1 500 000 mk. Väkilannoiteteollisuuden perustuessa pääasiassa ulkomaisiin raaka-aineisiin ja energialähteisiin lietteen hyödyntämisellä voidaan korvata osittain tuontia.

Lannoitteiden valmistus on runsaasti energiaa vaativa prosessi. Pessin (1976) mukaan öljyksi muutettuna lannoitteiden valmistukseen kuluu energiaa eri ravinteita kohti seuraavasti:

- 1 kg N - 1,06 kg öljyä
- 1 kg P - 0,15 kg öljyä
- 1 kg K - 0,04 kg öljyä

Tämän perusteella voidaan laskea ko. alueen lietteiden sisältämää ravinnemäärää vastaavan lannoitemäärän valmistukseen kuluvan noin 750 tonnia öljyä vuodessa, joka vastaa noin 250 000 mk vuosittaista tuonnin pienenemistä.

2.2 LIETTEEN KÄSITTELYN KUSTANNUKSISTA

Lietteen käsittelykustannukset vaihtelevat suuresti paikallisista olosuhteista riippuen - etenkin lietteen käsittelymenetelmästä sekä puhdistamon käyttöasteesta ja hoidosta. Koska tietoja em. kustannuksista on kirjallisuudessa niukasti, valittiin niiden selvittämiseksi Helsingin vesipiirin alueelta taulukossa 1 esitetyt viisi erikokoista jätevedenpuhdistamoa.

Taulukko 1. Jätevesilietteen käsittelykustannusten selvittämiseksi tutkitut jätevedenpuhdistamot.

Puhdistamo	mitoitus AVL	lietteen käsittely	kuormitusaste %
Urjala, kirkonkylä + as.	3.500	L	60
Jokioinen, kirkonkylä	5.900	T K Ca	32
Janakkala, Turenki	8.800	T L Ks	49
Tammisaari, Skeppsholmen	12.000	T L K Ko	60
Hämeenlinna, kaupunki	60.000	T K Ca	58

merkkien selitykset: L = lahotus
T = tiivistys
Ca = kalkkistabilointi
K = koneellinen kuivaus
Ks = koneellinen kuivaus (siirrettävä)
Ko = kompostointi

Näillä puhdistamoilla tehtiin jälkilaskenta vuonna 1976 toteutuneista lietteen käsittelykustannuksista. Pääomakustannukset korjattiin rakennuskustannusindeksillä vuoden 1976 tasoon. Vuotuiskustannuksia laskettaessa käytettiin korkokantana 7 %:a ja kuoletusaikana koneistolle kymmenen ja rakennuksille 20 vuotta. Ottamalla huomioon kuormitusasteen vaikutus käyttökustannuksiin (Ranta-Pere 1971) laskettiin vertailukelpoisuuden vuoksi kustannukset 100 %:in ja Helsingin vesipiirin alueen jätevedenpuhdistamoiden keskimääräisellä 67 %:in kuormitusasteella. Tutkittujen puhdistamoiden pienen lukumäärän vuoksi saatuja tuloksia voidaan pitää vain suuntaa antavina.

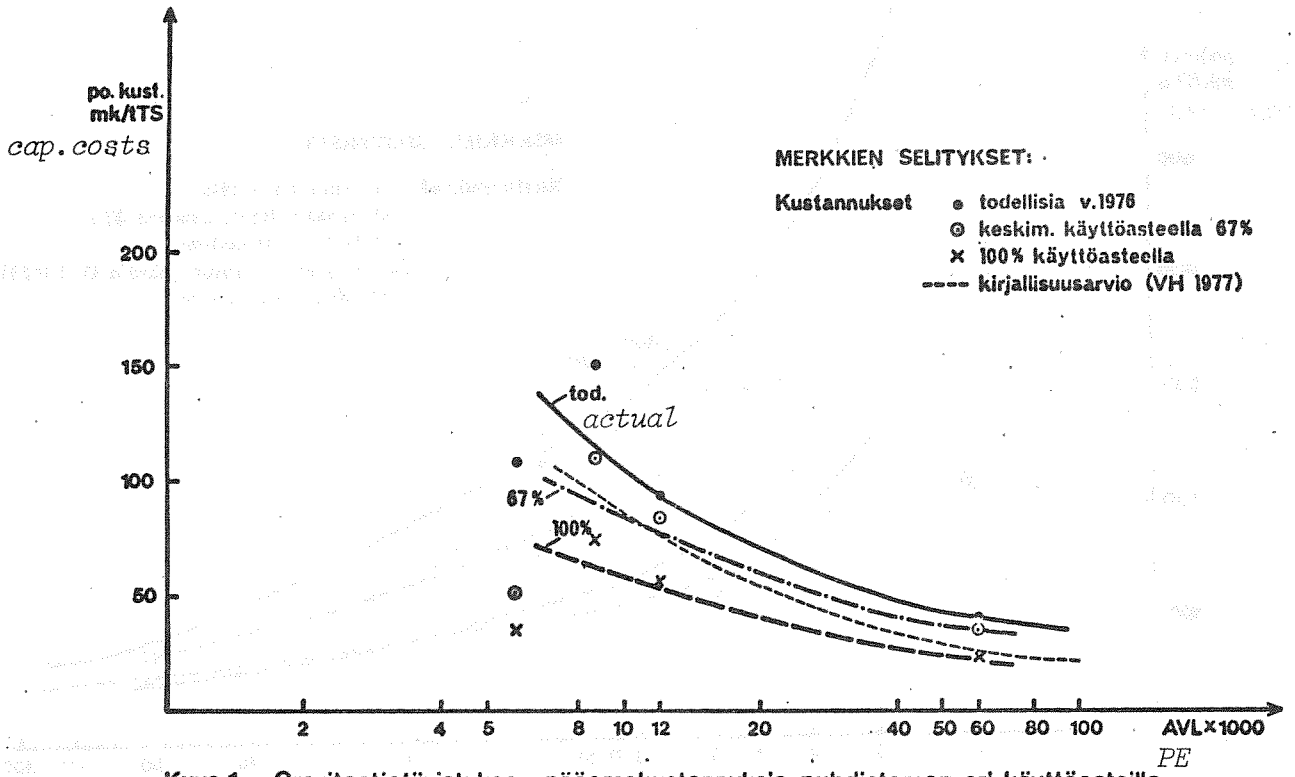
Lietteen tiivistyksen osalta kustannukset noudattelivat vesihallituksessa (1977) tehtyjä kustannuslaskelmia (kuvat 1 ja 2).

Lietteen kuivauskustannukset taas osoittautuivat em. tietoja korkeammiksi (kuvat 3 ja 4). Kuivauskustannukset hyvin hoidetulla Hämeenlinnan puhdistamolla lienevät huomattavasti keskimääräistä pienemmät, joten siltä osin käyrään on suhtauduttava varauksella.

Lietteen koneellisen kuivauksen kustannukset nousevat lietemäärään nähden kohtuuttoman korkeiksi liittyjämäärän ollessa alle 3000 asukasta. Pääomakustannusten osuus kuivauksen kokonaiskustannuksista vaihtelee mm. laitoskoosta riippuen - tutkituilla puhdistamoilla vaihteluväli oli 51...68 %. Kuvista 3 ja 4 voidaan todeta kuntien yhteisen siirrettävän kuivaimen kustannusten olevan huomattavan alhaiset kiinteään kuivaimeen verrattuna. Esimerkkinä on käytetty Hausjärven Oitin puhdistamon lietteiden kuivauksen laskennallisia kustannuksia (kohta 3.1). Edullisuus perustuu kuivaimen kapasiteetin ja siten myös investointi- ja huoltokustannusten jakamiseen. Pääomakustannusten osuutta voidaankin näin laskea 30...40 %:iin kuivauksen kokonaiskustannuksista liittyjämäärältään 500-3000 asukkaan puhdistamoissa. Pienentämällä lietetilavuutta kohtuullisin kustannuksin jopa 10 %:iin alkuperäisestä saadaan suoranaisia rahallisia säästöjä kuljetuskustannusten pienenemisen ja lietteen käsittelykustannusten lisäyksen erotuksena.

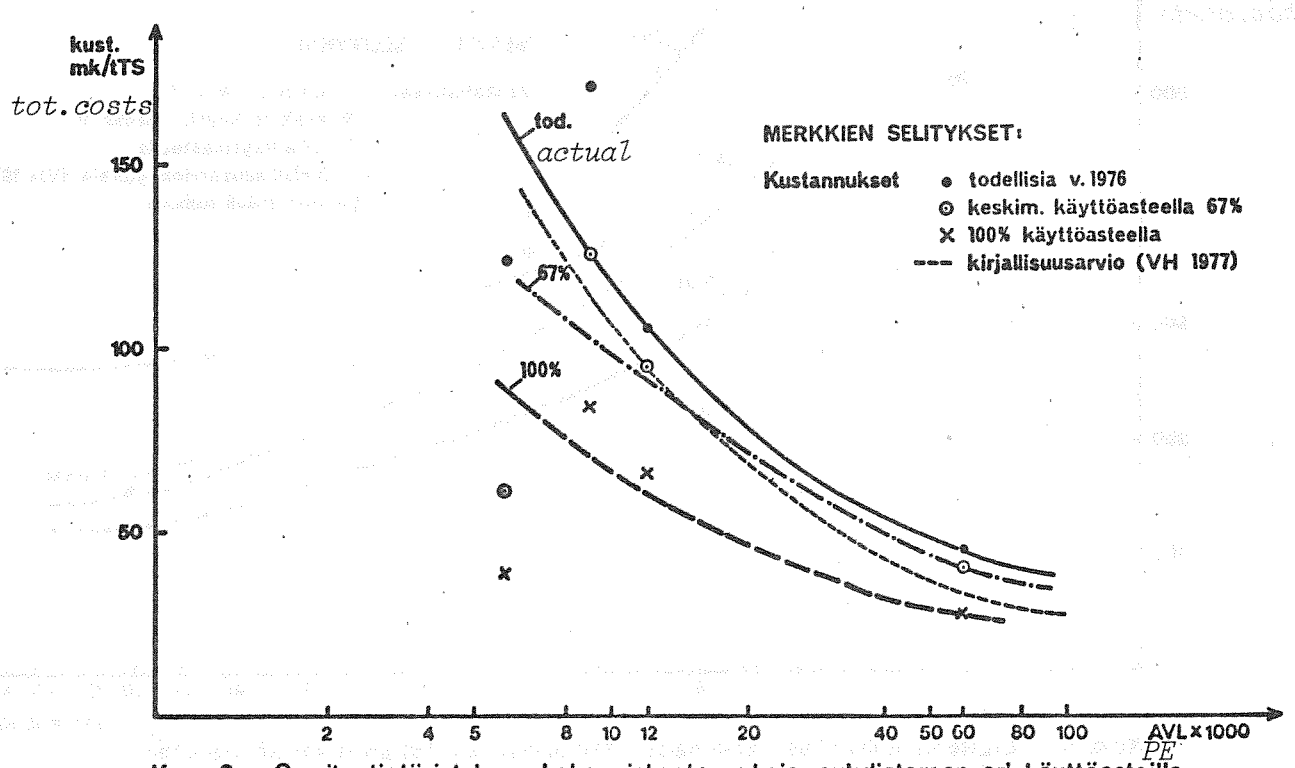
Kuten lietteen tiivistyksestä ja kuivauksesta myös lietteen stabiloinnista aiheutuneista kustannuksista saadaan ainakin osa korvattua kuljetuskustannusten säästöinä, sillä viljelijät käyttävät stabiloitua lietettä mieluummin kuin raakalietettä, mikä yleensä lyhentää kuljetusmatkaa. Valtaosa Suomen viljelymaasta vaatii kalkitusta, joten kalkkistabiloinnissa käytetty runsas kalkkimäärä on syytä hyödyntää. Mikäli kunta omistaa peltoja kohtuullisella etäisyydellä puhdistamosta, lietteen käyttö niiden kalkitsemisessa on kannattavaa. Lietteen stabilointi on harvoin teknistaloudellisesti perusteltavissa. Tosin lääkintöhallituksen yleiskirjeen n:o 1637 suhtautuminen raakalietteen hyödyntämiseen pääsääntöisesti edellyttää lietteen stabilointia.

Kompostoinnin kustannukset vaihtelevat suuresti mm. seosaineen hinnasta, kuljetusmatkan pituudesta, kompostointitavasta ja -paikasta sekä seossuhteista riippuen. Kemppaisen (1978) mukaan lietteen kompostointi aumoissa maatuneen puunkuoren kanssa maksaa 4...7 mk lopputuotteen kuutiometriä kohden (kesäkuu 1976 hintataso). Kustannuksista ei ole huomioitu seosaineen hintaa eikä kuljetuskustannuksia, vaan ainoastaan kompostin valmistukseen ja käsittelyyn kuluva työmenekki. Esimerkiksi Helsingissä seosaineen hankinta- ja kuljetuskustannukset muodostuvat em. kustannuksia



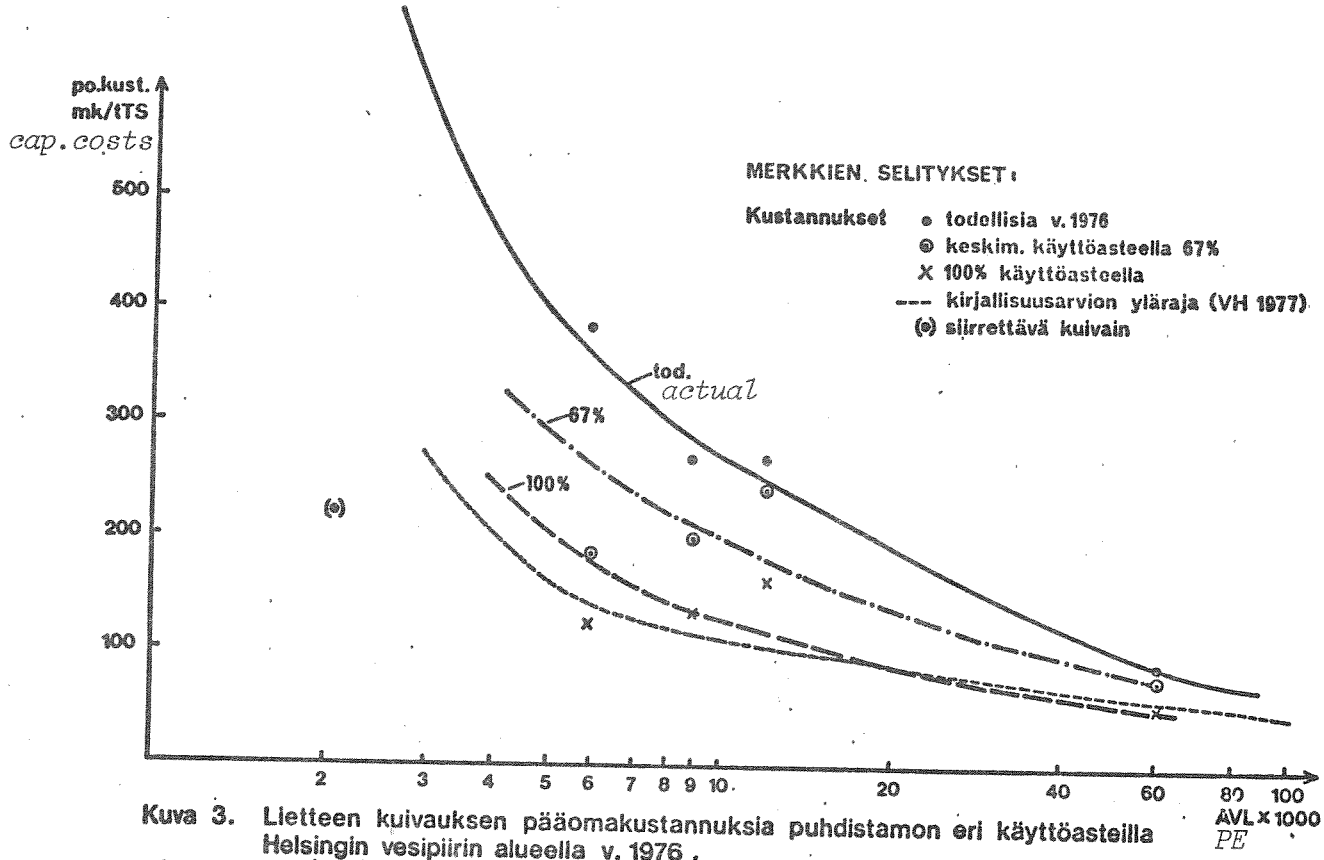
Kuva 1. Gravitaatiotiivistyksen pääomakustannuksia puhdistamon eri käyttöasteilla Helsingin vesipiirin alueella v. 1976.

Fig. 1. Capital costs of sludge thickening with various degrees of plant loading in the Helsinki Water District in 1976.



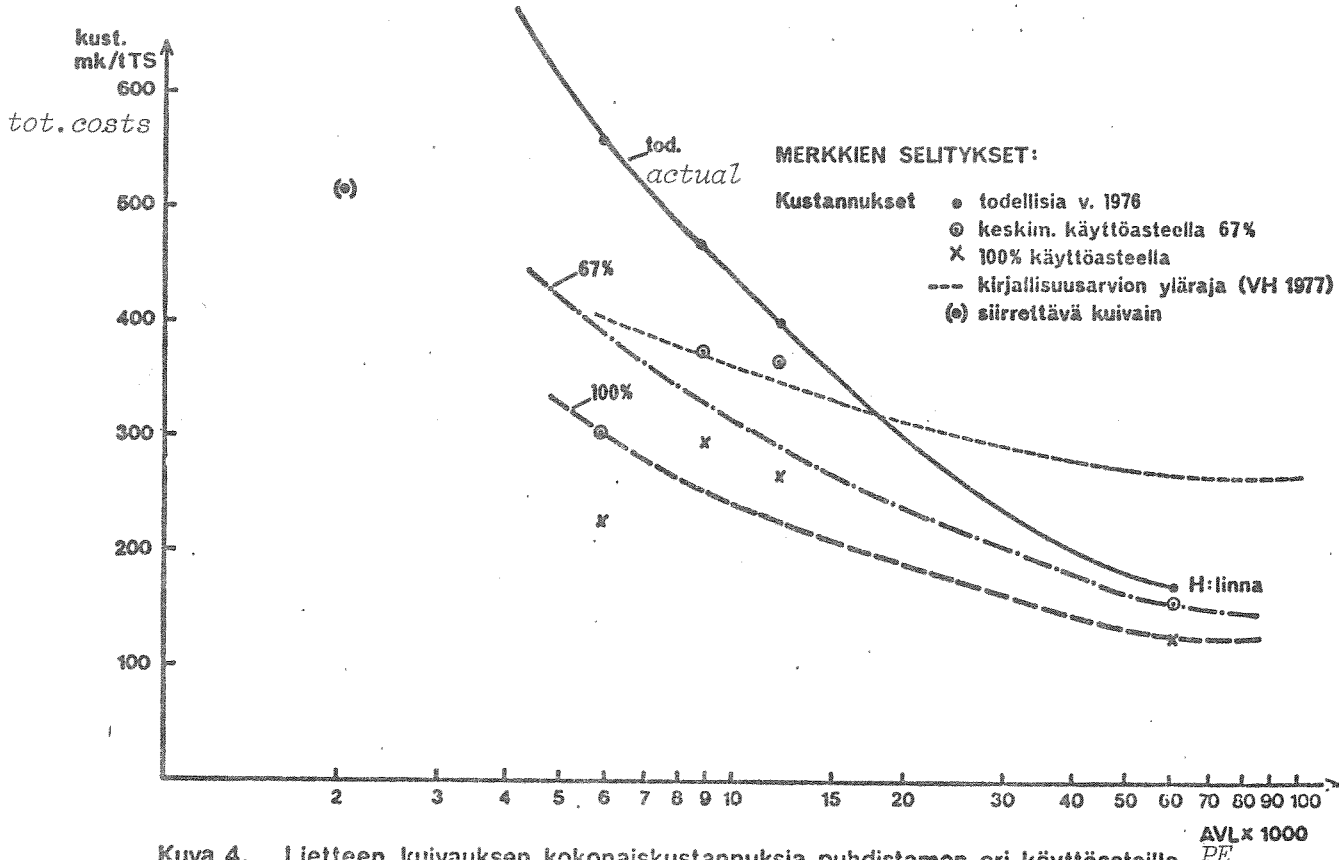
Kuva 2. Gravitaatiotiivistyksen kokonaiskustannuksia puhdistamon eri käyttöasteilla Helsingin vesipiirin alueella v. 1976.

Fig. 2. Total costs of sludge thickening with various degrees of plant loading in the Helsinki Water District 1976.



Kuva 3. Lietteen kuivauksen pääomakustannuksia puhdistamon eri käyttöasteilla Helsingin vesipiirin alueella v. 1976.

Fig. 3. Capital costs of sludge dewatering with various degrees of plant loading in the Helsinki Water District in 1976.



Kuva 4. Lietteen kuivauksen kokonaiskustannuksia puhdistamon eri käyttöasteilla Helsingin vesipiirin alueella v. 1976.

Fig. 4. Total costs of sludge dewatering with various degrees of plant loading in the Helsinki Water District in 1976.

huomattavasti suuremmiksi. Lietekuutiota kohden vastaavaksi kustannukseksi muodostui 6...20.7 mk/m^3. Mitä suurempi on lietteen osuus kompostissa, sitä pienemmäksi luonnollisesti muodostuu lietekuutiota kohti laskettu kompostointikustannus.

Em. tutkimuksissa aumat käännettiin kuusi kertaa, mikä jouduttaa kompostoitumista, mutta samalla nostaa kustannuksia. Mikäli kompostointitilasta ei ole puutetta, jolloin kompostointiaikaa voidaan pidentää, kustannukset saadaan lasketuksi noin puoleen kääntämällä aumaa vain kaksi kertaa. Kustannusten säästämiseksi Helsingissä komposti käännetään vain kerran, jolloin kevään 1976 raaka-ainehintoja käyttäen kompostin tuotehinnaksi muodostuu 19 mk/m^3. Kustannuksia laskettaessa on otettava huomioon kompostoinnin aikana tapahtuva auman tilavuuden pieneneminen siten, että lopullinen kompostimäärä on noin 60 % alkuperäisestä raaka-ainemäärästä (Viitasalo 1976).

Viime vuosina on kehitetty aumaavia kompostin sekoituslaitteita. Kuitenkin niiden korkea hankintahinta (250 000 mk) edellyttää korkeata käyttöastetta. Laitteen käyttö lienee taloudellisestikin perusteltua tuotettaessa laitteen kapasiteetin mukaisesti kompostia noin 40 000 m^3/a.

2.3 LIETTEEN KULJETUKSEN KUSTANNUKSISTA

Lietteen kuljetuskustannus riippuu oleellisesti paikallisista olosuhteista. Mikäli kustannuksia tarkastellaan kuiva-ainetta kohti, ne luonnollisesti kasvavat voimakkaasti kuiva-ainepitoisuuden laskiessa. Kuitenkin kuljetettavan lietteen tilavuutta kohti lasketut kustannukset ovat suhteellisen vakaat. Puhdistamokohtaisessa tarkastelussa onkin käytettävä kuutiohintoja, jolloin paikalliset olosuhteet voidaan ottaa huomioon.

Helsingin vesipiirin alueella tarkasteltiin kuljetuskustannuksia tiedustelemalla 45 puhdistamolta todelliset lietteen kuljetuskustannukset. Tutkituista puhdistamoista 29:llä liete oli nestemäistä ja kuljetettiin säiliöautolla tai -vaunulla. Puhdistamoiden liittyjämäärä vaihteli 90:stä 3350:een.

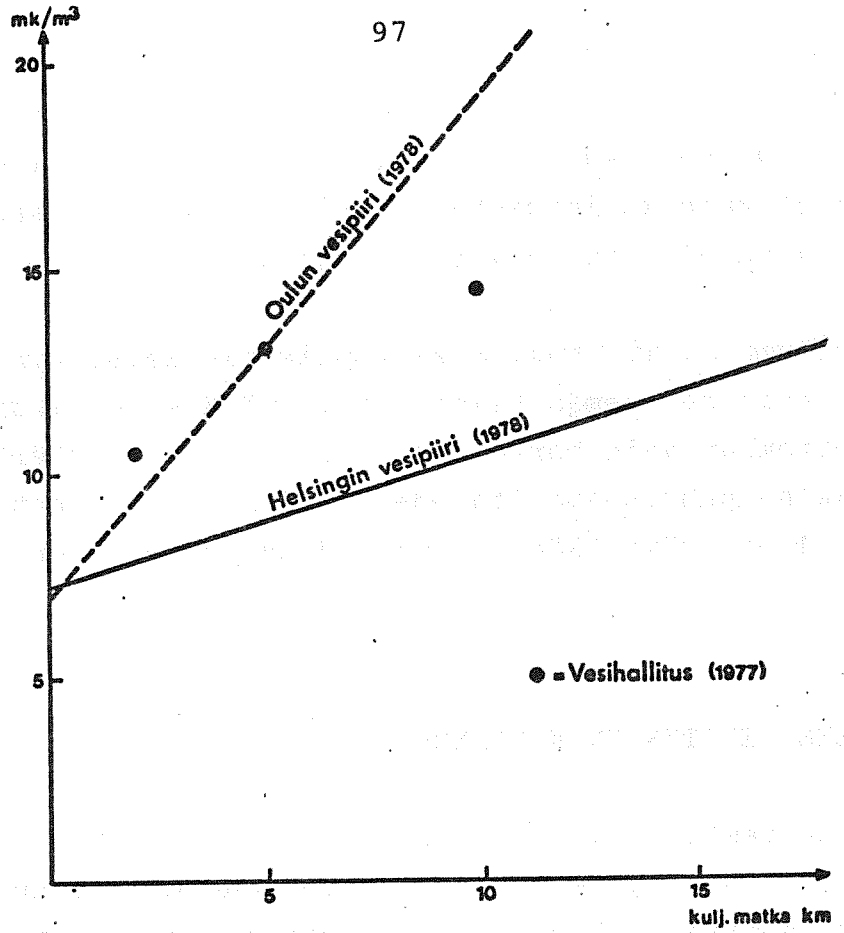
Kuljetusmatkan funktiona saadut arvot vaihtelivat suuresti. Kuljetuskustannusta (K_1) kuljetusmatkan (l) funktiona kuvaavaksi suoraksi saatiin $K_1 = 7.28 + 0,314\ l$ (kuva 5).

Saatu suora poikkeaa ratkaisevasti Oulun vesipiirin alueelta kerättyihin hintatietoihin perustuvasta kuljetuskustannusta kuvaavasta regressiosuorasta $K = 7 + 1.2 \times l$. Myös vesihallituksessa tehdyt kustannuslaskelmat ovat saatuja arvoja huomattavasti korkeammat. Kuljetuskustannus riippuu mm. lietemääristä, kuljetuskalustosta ja sijoituskohteesta. Poikkeuksellisen korkeissa ja matalissa hinnoissa voidaan havaita kilpailutilanteen vaikutus. Sitä voitaneenkin pitää eräänä tärkeänä syynä kustannuseroihin mm. Helsingin ja Oulun vesipiirin välillä.

16 puhdistamolla liete oli kuivattua ja kuljetettiin joko kuormaautolla tai traktorilla. Puhdistamoiden liittyjämäärä vaihteli 3500:sta yli 100 000:een. Kuljetuskustannusta (K_2) kuljetusmatkan (l) funktiona kuvaavaksi suoraksi saadaan $K_2 = 8.84 + 0.256\ l$, joka on hyvin lähellä vesihallituksen arviota (kuva 6).

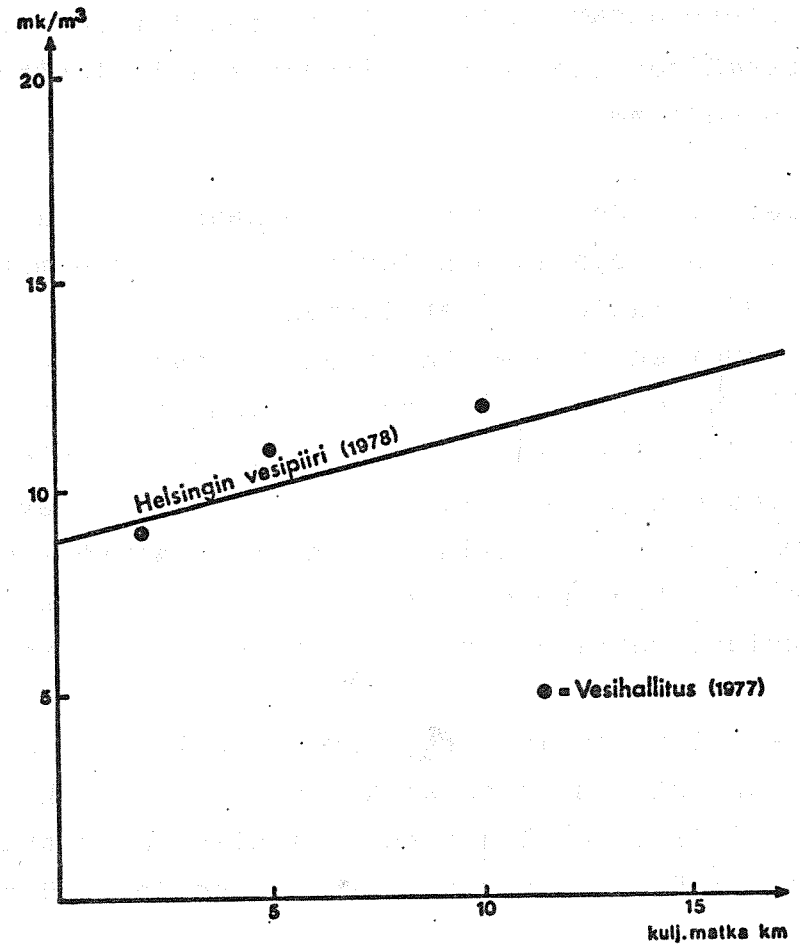
Lietteen kuljetuksen järjestäminen vaihtelee suuresti paikallisista olosuhteista riippuen. Organisaatiovaihtoehtoja on useita. Lietteen käyttäjä voi hakea lietteen puhdistamolta itse, tai puhdistamon pitäjä voi kuljettaa lietteen sen käyttäjälle tai antaa hyödyntämisen järjestäminen yksityiselle yrittäjälle. Lisäksi kuljetuskalusto voi olla lietteen käyttäjän, puhdistamon pitäjän tai yksityisen yrittäjän omistuksessa, mikä vaikuttaa kustannusten jakoon oleellisesti. Lietteen kuljetuksen järjestäminen riippuu suuresti puhdistamon koosta. Suurilla puhdistamoilla suuri lietemäärä, esimerkiksi Espoon Suomenojalla 650 m^3 viikossa, edellyttää hyvin järjestettyä organisaatiota. Tällöin kunnan on parasta hankkia oma kuljetuskalusto ja sitä varten henkilökunta tai antaa kuljetuksen järjestäminen yksityiselle yrittäjälle.

Useilla paikkakunnilla on käytäntönä kuljettaa liete itse ilmaiseksi kaatopaikkaetäisyydelle saakka, jonka ylittävältä osalta lietteen käyttäjä maksaa kuljetuskustannuksen, joka on siis nestemäisellä keskimäärin 31 p/m^3/km ja kuivatulla lietteellä 26 p/m^3/km. Kuivatun lietteen arvo ravinteiden mukaan laskettuna kattaa hyvin



Kuva 5. Nestemäisen jätevesilietteen kuljetuskustannus

Fig.5. Transport cost of Liquid sludge



Kuva 6. Kuivatun jätevesilietteen kuljetuskustannus

Fig.6. Transport cost of dewatered sludge

kuljetuksesta aiheutuneet kustannukset, jotka ylittävät lietteen arvon vasta yli 70 km:n kuljetusetäisyyksillä. Nestemäisen lietteen arvo sen sijaan ei kata kuljetuskustannuksia.

Keskimääräinen etäisyys puhdistamolta kaatopaikalle Helsingin vesipiirin alueella on noin seitsemän kilometriä. Tätä kauemmaksi liete joudutaan kuljettamaan vain harvoilta yleensä liittyjämäärältään yli 10 000 asukkaan puhdistamoilta edellyttäen, että lietteen arvo ymmärretään, ja liete käytetään lähimmillä hyödyntämiseen soveltuvilla peltoalueilla.

2.4 LIETTEEN LEVITYKSEN KUSTANNUKSISTA

Hygieniasyistä nestemäisen lietteen ruiskutus ja sadetus eivät ole Suomessa käytössä, vaan liete levitetään suoraan maan pinnalle tai sisään. Levitys suoraan kuljetusajoneuvosta on yksinkertaista. Hygieenisempi ja ravinteiden käytön kannalta tehokkaampi tapa on lietteen sijoittaminen eli multaaminen maan sisään suoraan levitysvaunusta. Sekä maan pinnalle että sisään tapahtuvaan levitykseen soveltuvat karjan lietelannan levitys- ja multauslaitteet (Latostenmaa 1974). Nestemäisen lietteen kuljetuksesta ja levityksestä huolehtii yleensä puhdistamon pitäjä.

Jätevesilietteen levitykseen kuluvan ajan voidaan olettaa kokemusten mukaan olevan 20...30 % karjanlannan levitysaikaa suuremmat. Niinpä työtehoseuran (1971) laskeman lietelannan levitysajan perusteella voidaan laskea nestemäisen jätevesilietteen levitykseen kuluvan noin 40 min/50 m^3. Tällöin pelkän levityksen kustannukseksi muodostuu vuoden 1978 hintojen (Pellervo-seura ym. 1978) mukaan noin 1 mk/m^3. Levityksen osuus lietteen pumppaus-, kuljetus- (1 km), levitys- ja järjestelyajan summasta on kuitenkin vain noin 10 %(Työtehoseura 1971). Nestemäisen lietteen arvo kattaakin siten lietteen levityksestä aiheutuvat kulut, mutta ei em. toimintaketjun kustannuksia.

Kuivattu liete on edullisinta levittää suoraan kuljetusajoneuvon lavalta. Yleinen tapa kuitenkin on ajaa liete pellolle kasaan, josta viljelijä itse voi levittää lietteen karjanlannanlevittäjällä, äkeillä tai puskulevyllä. Levitystyössä on kiinnitettävä huomiota

raskaiden koneiden aiheuttamiin maan tiivistymisvaurioihin. Varastoitaessa lietettä pellolla on alueen pohjan kestävyys uudelleenkuormausta ajatellen otettava huomioon (Latostenmaa 1974).

Vesihallituksessa (1977 c) tehdyissä laskelmissa kuivatun lietteen levityskustannukseksi on esitetty 2 mk/m^3. Käytännön kokemuksiin perustuen voidaan karkeasti arvioida lietteen levitykseen pellolle tehdystä kasasta kuluvan noin 1 h/10 m^3 (Latostenmaa 1978). Maatalouskalenterin (Pellervo-seura ym. 1978) esittämien hintojen mukaan levityskustannukseksi muodostuisi noin 6 mk/m^3. Mikäli viljelijä levittää lietteen itse, em. kustannus on korkeampi kuin todellisuudessa.

Koska jätevesilietettä käyttämällä voidaan korvata osa väkilannoitteita, lietteen todellista levityskustannusta laskettaessa olisi em. kustannuksista vähennettävä vaihtoehtoisen lannoitteen levityksestä aiheutuvat kulut.

3. LIETTEEN HYÖDYNTÄMISEN LISÄÄMISMAHDOLLISUUKSISTA

Perusedellytys lietteen hyödyntämiselle ja sen edistämiselle on asiallisen tiedon jakaminen lietteen käyttäjille.

Keinot lietteen hyödyntämisen lisäämiseksi riippuvat oleellisesti paikallisista olosuhteista. Pienissä taajamissa ongelmana on yleensä lietteen nestemäisyys. Ratkaisuna ongelmaan voidaan pitää usean puhdistamon yhteistä kuivainta ja lietteen välivarastointia. Liittyjämäärältään alle 10 000 asukkaan puhdistamoilla lietteen hyödyntämistä vaikeuttaa kuljetusten kehittymättömyys. Suurten puhdistamoiden ongelmana on taas pitkät kuljetusmatkat ja lietteen laatu. Suurissa taajamissa on kuitenkin usein mullan tarvetta viherrakennustöiden vuoksi, mikä voi tehdä lietekompostin valmistamisen kennattavaksi.

Helpoin, taloudellisin ja nopein tapa kohottaa lietteen hyödyntämisastetta on tehostaa jo nykyään kuivatun lietteen käyttöä maanparannus- ja lannoitusaineena. Vuonna 1976 Helsingin vesipiirin alueella kuljetettiin nimittäin 25 % kuivatusta lietteestä kaatopaikalle. Kokonaislietemäärästä kaatopaikalle vietiin noin kolmannes. Seuraavassa on esitetty eräitä keinoja lietteen käytön tehostamiseksi.

3.1 SIIRRETTÄVÄ KUIVAIN

Liittyjämäärältään alle 3000 asukkaan puhdistamoilla lietteen raskasmetallipitoisuudet eivät yleensä rajoita lietteen hyödyntämistä, johon soveltuvaa peltoalaakin on runsaasti aivan puhdistamon läheisyydessä. Ongelmana on lietteen nestemäisyys, joka rajoittaa talvilevitystä ja nostaa kuljetuskustannuksia. Lisäksi nestemäisenä lietetilavuus on suuri, ja se aiheuttaa suuria vaikeuksia kaatopaikoilla.

Koska koneellisen kuivauksen investointikustannukset ovat pienillä laitoksilla lietemäärään nähden kohtuuttoman suuret, käsittelykustannusten laskemiseksi voidaan tarkastella mahdollisia yhteistoiminta-alueita yhteisen kuivaimen hankkimiseksi. Tämä luonnollisesti edellyttää mm. puhdistamoiden sijaitsevan kohtuullisella etäisyydellä toisistaan sekä ennen kaikkea puhdistamon pitäjien yhteistyöhalukkuutta.

Helsingin vesipiirin alueella tarkasteltiin 22 mahdollista yhteistoimintavaihtoehtoa 39 puhdistamolla. Lietteen eri käsittely- ja sijoitusvaihtoehtojen kustannusvaikutusten lisäksi otettiin huomioon mm. yhteistoimintakuntien ja -puhdistamoiden lukumäärä, tieyhteydet ja ympäristönsuojelulliset näkökohdat. Näiden perusteella lietteen kuivaamiseksi siirrettävällä kuivaimella ehdotettiin muodostettavaksi seitsemän yhteistoiminta-aluetta, joista Hausjärven, Kärkölän ja Lopen kunnan yhteinen hanke toteutui v. 1979 alussa.

Siirrettävän kuivaimen investointikustannuksia voidaan pienentää asentamalla laite esimerkiksi vanhan kuorma-auton alustalle. Säästö voi olla jopa 25 % hankintahinnasta. Tämän vaihtoehdon etuna on lisäksi se, ettei laitteen siirtoon tarvita erillistä kuorma-

autoa tai traktoria. Kustannuslaskelmissa on käytetty perustana seuraavia arvoja:

- hankintahinta	200 000 mk
- kuoletusaika	10 vuotta
- korkokanta	7 %
- huoltokustannus	5000 mk/a
- auton vakuutus	1000 mk/a
- kapasiteetti	200 kg TS/h
- polymeerin kulutus	20 mk/kg; 4 kg / tTS
- energian kulutus	7 kW/h; 20 p/kWh
- hoitokustannus (sis.sos.kulut)	22,5 mk/h

Laite toimii periaatteessa automaattisesti. Kuitenkin hyvin pienillä laitoksilla, joilla lietemäärä on alle 50 tTS/a, laitteen valvontaan käytetyksi ajaksi on laskettava koko käyntiaika. Suuremmilla puhdistamoilla hoitoajaksi voidaan arvioida puolet käyntiajasta, joskin laitteen toiminnan ja kestävyyden vuoksi kuivaimen käyttöä varten on syytä palkata vakituinen hoitaja.

Puhdistamoiden lietteiden käsittely- ja sijoittamisvaihtoehtoja vertailtaessa on oleellista tarkastella niiden muodostamien toimintaketjujen kokonaiskustannuksia, sillä kuivaus kalliina käsittelymenetelmänä saa aikaan säästöjä mm. kuljetuksissa. Jo toteutetun Hausjärven, Kärkölän ja Lopen kunnan yhteishankkeen perustana lietteiden kuivaamiseksi siirrettävällä kuivaimella on ollut taulukossa 2 esitetty laskelma eri käsittely- ja sijoitusvaihtoehtojen vuotuisista kuiva-ainemäärien suhteessa jaetuista kustannuksista (mk/a).

Taulukko 2. Laskelma Hausjärven, Kärkölän ja Lopen kunnan jätevesilietteiden eri käsittely- ja sijoitusvaihtoehtojen vuotuisista kustannuksista (mk/a).

kunta puhdistamo AVL-mit.		Hausjärvi Oitti 2100		Hausjärvi Ryttylä 1500		Kärkölä Järvelä 2600		Loppi kirkonkylä 1600		Loppi Läyliäinen 450	
		1976	1985	1976	1985	1976	1985	1976	1985	1976	1985
TCa	nykyinen menetelmä	6100	33600								
TLCa				7700	18700						
L						23800	30200			3600	3600
TL								7200	12000		
KS		6500	27200	9900	17500	32100	28600	13000	15800	6500	4900
K		37600	48800			47200	51000				
La		12800	25100	9900	14600	23000	26800	9200	12200	3700	3700
Oitti				11300	27500						
Loppi kk.										9600	8000

Merkkien selitys:

T = tiivistys
L = lahotus
Ca = kalkkistabilointi
K = kiinteä kuivain
Ks = yhteinen siirrettävä kuivain
La = lavakuivaus

Laskelmassa on vertailtu nykyisen menetelmän kustannuksia muiden vaihtoehtojen kustannuksiin vuonna 1976 ja lietemääräennusteen perusteella vuonna 1985.

Vuonna 1979 siirrettävän kuivaimen hankintahinta kuljetusautoineen on noin 250 000 mk.

3.2 LIETTEEN VÄLIVARASTOINTI SEKÄ KULJETUKSEN JA LEVITYKSEN KEHITTÄMINEN

Pienillä puhdistamoilla, joilla esimerkiksi siirrettävän kuivaimen käyttö ei maantieteellisten syiden vuoksi ole mahdollinen, lietteen välivarastointi on usein mielekäs ratkaisu. Englannissa viranomaiset ovat rakentaneet aidattuja varastoaltaita lietteen käyttäjän alueelle. Näin maanviljelijä voi omalla kalustollaan levittää lietteen

pelloilleen haluamanaan ajankohtana (Koskela ym. 1978). Moninkertaisen kuormauksen ja kuljetuksen välttämiseksi olisi kuitenkin kokonaisuutena edullisinta, mikäli välivarasto voitaisiin rakentaa aivan puhdistamon läheisyyteen. Tällöin liete olisi mahdollista siirtää varastoon putkea myöten.

Liittyjämäärältään alle 10 000 asukkaan puhdistamoilla on usein ongelmia lietteen kuljetuksessa. Myös kuivatun lietteen hyödyntäminen olisi järjestettävä ilman moninkertaisia työvaiheita mahdollisimman taloudellisen tuloksen saavuttamiseksi. Lietteen määrä em. puhdistamoilla on niin pieni, ettei kuljetusta varten kannata palkata henkilökuntaa. Toisaalta pienen lietemäärän vuoksi on käytännössäkin mahdollista, että viljelijät itse hakevat lietteen puhdistamolta puhdistamon pitäjän omistamalla lietteen kuljetukseen ja levitykseen soveltuvalla kalustolla.

Helsingin vesipiirissä tehdyssä selvityksessä todettiin kymmenellä puhdistamolla olevan pikainen tarve kuljetusten kehittämiseen lietteen hyödyntämisedellytysten parantamiseksi. Syksyllä 1978 Someron jätevedenpuhdistamolle hankittiinkin lietteen levitykseen soveltuva traktorin perävaunu. Ottaen huomioon, että maanviljelijät hoitavat kuljetuksen ja toisaalta etäisyys kaatopaikalle on 14 km, tehty investointi on Someron kunnalle kannattava.

Taulukossa 3 esitetyn laskelman mukaisesti lietettä levittävän traktorin perävaunun hankkiminen on puhdistamon pitäjälle edullista liittyjämäärän ollessa yli 1500 asukasta, jolloin rinnakkaissaostuslaitokselta muodostuu kuivattua lietettä noin yksi kuorma (6 m^3) viikossa. Liittyjämäärän ollessa 7000 asukasta puhdistamolle tulee hankkia toinen tai isompi vaunu. Laskelmissa kuoletusaika on kymmenen vuotta ja korkokanta seitsemän prosenttia.

Taulukko 5. Lietteen levitykseen hyvin soveltuvan traktorin perävaunun vuotuiset pääomakustannukset ja keskimääräinen kuljetuskustannus v. 1978 eri etäisyyksille erikokoisilla jätevedenpuhdistamoilla.

liittyjämäärä		vuotuiskustannus mk/a		
	levitykseen sov. perävaunu	kuljetus eri etäisyyksille		
		1 km	3 km	5 km
1500	2800	2500	2600	2800
3000	2800	5000	5300	5500
5000	2800	8300	8800	9200
7000	5600	11600	12300	12900

Maanviljelijälle koituu em. käytännöstä mm. seuraavia etuja:

- viljelijä välttyy lietteen kuormaukselta pellolle tehdystä kasasta
- vältytään varastoinnin aiheuttamilta typpihäviöiltä
- lietteen levitykseen suunnitellulla vaunulla levitys onnistuu tasaisemmin
- viljelijän ei tarvitse liata omaa kalustoa

Koska puhdistamon pitäjillä ja maanviljelijöillä on yhteisiä intressejä lieteongelmaa ratkaistaessa, näiden osapuolten olisi yhdessä neuvoteltava paikallisiin olosuhteisiin sopiva ratkaisu. Liittyjämäärältään 1500-10000 asukkaan puhdistamoita Helsingin vesipiirin alueella on 32 kpl.

Suurissa taajamissa kaatopaikan sijoituspaikan valinta on usein ongelma. Niinpä mitoitukseltaan yli 10000 asukkaan puhdistamoiden etäisyys lietteen sijoitukseen soveltuvalta kaatopaikalta on suunnittelualueella keskimäärin 9,4 km, kun se kaikki puhdistamot huomioon ottaen on 7,4 km.

3.3 KOMPOSTOINTI

Lietteen ensisijainen käyttökohde on maanviljely. Kuitenkin mm. kuljetusmatkojen pituus, lietteen laatu, mullan tarve ja hinta, kompostin seosaineiden saanti ja hinta sekä kompostointipaikan sijainti voivat tehdä lietteen kompostoimisen puunkuoren, sahanpurun, turpeen, tuhkan, O-kuidun, kuorimujun tai kaupunkijätteen kanssa mielekkääksi.

Lietteen kompostointimahdollisuuksien selvittämiseksi Helsingin vesipiirin alueella kartoitettiin mahdollisten seosaineiden määrät ja sijainti. Kompostin seosaineeksi soveltuvaa turvetta on runsaasti. Turpeen käyttöä olisi tutkittava erityisesti silloin, kun sitä jää muun toiminnan yhteydessä käyttämättömäksi, jolloin siitä aiheutuvat kustannukset jäävät alhaisiksi.

Puunkuori-, sahanpuru-, tuhka-, O-kuitu- ja kuorimujumäärien selvittämiseksi lähetettiin vesipiirin alueella oleville sahoille, sopiville teollisuuslaitoksille sekä tuhkaa tuottaville lämpövoimaloille kyselylomakkeet. Kyselyn tuloksista voidaan todeta voimakas pyrkimys ko. materiaalien hyödyntämiseen, jota puunkuoren ja sahanpurun osalta pienentää teollisuuden käyminen taloudellisten suhdanteiden vuoksi vajaalla teholla.

Kompostoinnin kannalta todella merkittävää on puunkuoren määrä. Energian hinnan noustua kuoren poltto on osoittautunut kannattavaksi. Voidaankin olettaa, että tuotetun kuoren ja sahanpurun käyttö teollisuudessa entisestään lisääntyy, mikä nostanee kuoren hintaa. Nykyisinkin puunkuoren arvo on Isomäen (1978) mukaan 10 mk/m^3 tulipesässä. Kompostoinnissa jäänee käytettäväksi useita vuosia varastossa ollut osittain maatunut kuori, joka Kemppaisen (1978) mukaan soveltuukin seosaineeksi tuoretta kuorirouhetta paremmin. Kustannuksia kohottavana ongelmana suurissa kompostointihankkeissa on pitkät kuljetusmatkat, sillä runsaasti kuorta tuottavat yksiköt ovat keskittyneet harvoille paikkakunnille. Helsingissä viherrakennustöihin käytetyssä kompostissa liete-kuorisuhde on 1:2-3 (Viitasalo 1977).

Sahanpurun käyttö kompostoinnissa tuskin on kannattavaa sen kor-

kean hinnan vuoksi. Käytettävissä olevat O-kuitu- ja kuorimujumäärät ovat merkityksettömät. Viitasalo (1977) suosittelee tuhkaa käytettäväksi kompostoinnissa 30 kg/m^3, jolloin vältytään kalkitukselta vihertyön yhteydessä. Käyttämätöntä tuhkaa vesipiirin alueella on runsaasti, joskin harvoilla paikkakunnilla.

3.4 VIHERRAKENNUSKOHTEET

Pienissä taajamissa ei ole varsinaista tarvetta lietteen käyttöön viherrakentamisessa, sillä multaa saadaan riittävästi esimerkiksi rakentamisen yhteydessä kuorittavista pintamaista. Suurissa taajamissa tilanne on kuitenkin toinen. Mullan tarve on kuitenkin esimerkiksi Espoossa, Hangossa ja Helsingissä suuri, mikä nostaa sen hinnan jopa yli 30 mk/m^3. Lietteen kompostoiminen ja käyttö taajaman omiin tarpeisiin viherrakennuskohteissa on suhteellisen helposti järjestettävissä, mikäli toiminta on vähäistä. Tällöin kompostikasat voidaan tehdä omalla kauhakuormaajalla ja kompostointipaikkana voi olla esimerkiksi kaatopaikka.

Vesipiirin alueella on runsaasti tienrakennuskohteita, joissa lietteen käyttö merkittävässäkin määrin olisi mahdollista ja edullista. Käytännöllisenä vaihtoehtona lietteen hyödyntämisedellytysten parantamiseksi olisi varastoida lietettä TVL:n varamaanottopaikoille myöhempää käyttöä varten - edellyttäen ettei tästä aiheudu mm. vesiensuojelullista haittaa.

Eräänä hyödyntämiskohteena mainittua lietekompostin käyttöä soranottoalueiden maisemointiin olisi tutkittava tarkoin harkituissa kohteissa vasta muiden hyödyntämiskeinojen osoittauduttua mahdottomiksi.

3.5 UUDET KÄYTTÖKOHTEET

Vaikka lietteen käyttöä maataloudessa pidetään ensisijaisena tavoitteena, viherrakennuskohteiden lisäksi muilla lietteen sijoituskohteilla saattaa olla paikallisesti suurta merkitystä.

Kotimaisen energiantuotannon lisäämisponnistelut voivat luoda uusia

mahdollisuuksia hyödyntää lietettä. "Energiametsien" nopeakasvuisten pajujen lannoitukseen liete voisi soveltua hyvin.

Puolassa on saatu hyviä kokemuksia puunjalostusteollisuuden yhteyteen perustetuista kasvihuoneista. Epäilemättä lietekompostin käyttö mm. koristekasvien kasvualustana on mahdollista. Puunjalostusteollisuuden vesiensuojelullisten vaatimusten kiristyessä teollisuuslaitosten tuottamasta sivutuotteesta, kuoresta hyödyntämättä jäävä osuus voidaan kompostoida laitoksen oman jätevedenpuhdistamon lietteen kanssa. Taajamien jätevesilietteen käyttö riippuu mm. teollisuuslaitoksen ja puhdistamon keskinäisestä sijainnista. Suurena etuna kasvihuoneen sijainnilla puunjalostusteollisuuden läheisyydessä on lisäksi laitoksesta saatava edullinen jätelämpö (Isomäki 1978).

Pienimuotoisista hyödyntämismahdollisuuksista erikoisuutena mainittakoon herkkusienien kasvattamiseen tarvittavat kompostit. Yhdysvalloissa on harkittu proteiinipitoisen jätevesilietteen käyttöä jopa osana karjan rehua.

4. YHTEENVETO

Taloudelliset ja ekologiset näkökohdat ovat herättäneet mielenkiinnon jätevesilietteen hyödyntämistä kohtaan. Jätevesilietteellä on huomattava paikallinen ja yksityistaloudellinen arvo. Helsingin vesipiirin alueella lietteen keskimääräiseksi arvoksi saatiin sen sisältämien kasvinravinteiden mukaan laskettuna 123 mk kuiva-ainetonnia kohden. Lietteen tiivistyksen kustannukset noudattelivat kirjallisuusarvioita hyvin, jotka osoittautuivat koneellisen kuivauksen osalta saatuja tuloksia huomattavasti pienemmiksi. Kuivatun lietteen kuljetuskustannukset vastasivat kirjallisuudessa esitettyjä arvioita, kun taas nestemäisen lietteen kuljetuskustannukset vesipiirin alueella osoittautuivat huomattavasti kirjallisuustietoja pienemmiksi.

Vuonna 1976 noin kolmasosa Helsingin vesipiirin alueella tuotetusta lietteestä kuljetettiin kaatopaikalle, mutta syy tähän oli harvoin sen kelpaamattomuus muuhun käyttöön. Tutkimalla

lietteen eri käsittely- ja sijoitusvaihtoehtoja jokaiselle puhdistamolle vesipiirin alueella on mahdollista löytää em. käytäntöä mielekkäämpi ja yleensä myös taloudellisempi tapa käyttää liete. Uusia käyttökohteita olisikin tutkittava ennakkoluulottomasti. Hyödyntämistä edistävät toimenpiteet eivät useinkaan vaadi nykyisillä puhdistamoilla suuria investointeja. Erikoispiirteenä paikallisiin olosuhteisiin soveltuvana ratkaisuna lietteen hyödyntämisedellytysten parantamiseksi on lietteen kuivaaminen siirrettävällä laitteella.

Edellytyksenä jätevesilietteen hyväksikäyttöasteen nostamiselle on hyvä yhteistyö eri kuntien sekä puhdistamon pitäjien ja lietteen käyttäjien välillä.

E N G L I S H S U M M A R Y

Economical and ecological factors have made sludge utilization increasingly attractive. Waste water sludge may have considerable local value for selected purposes. In the region of the Helsinki Water District the average value of sludge was estimated to be 123 Fmk per ton of total solids, taking into account only major nutrients. Sludge thickening costs closely followed the respective estimates in the literature but dewatering costs proved to be much higher than those in the literature. Transport costs of dewatered sludge were in accordance with the literature but transport costs of liquid sludge in the region were considerably lower.

In 1976, about one third of the total sludge volume produced in the region was disposed of in landfills. The reason for this practice was seldom the unsuitable quality of the sludge. A more reasonable and usually more economical way to use the sludge can be found by studying the various treatment and disposal alternatives of each treatment plant in the region. New methods and sites for using the sludge shoulg be studied objectively. Measures promoting sludge utilization seldom require big investments on existing treatment plants. A suitable and unique solution well applicable in certain local conditions for increasing the utilization potential of sludge is sludge dewatering by a mobile dewatering unit.

Increasing the degree of sludge utilization requires good co-operation between the authorities of different municipalities as well as plant operators and sludge users.

K I R J A L L I S U U S L U E T T E L O

Ettala, M. 1978. Jätevesiliete maanparannus- ja lannoitusaineena ja sen käyttö Helsingin vesipiirin alueella. Diplomityö Helsingin Teknillisessä korkeakoulussa. Espoo.

Iisakkila, L. 1978. Lannoitteiden käyttö lisääntyy 1980-luvulla. Leipä leveämmäksi 1978:2. Kemira Oy. Helsinki.

Isomäki, O. 1978. Kuorintajätteet ja niiden käyttömahdollisuudet. Esitelmä Suomen Akatemian lietetutkimuksen seurantaseminaarissa "biologinen sukkessio jäte-liete-kuorirouhe-keinohumuksessa" 19.6.1978. Helsinki.

Jansson, S.L. 1963. Rötslammets användning inom jordbruket. Växt-närings-nytt. 19(1963) 1.

Kemppainen, E. 1978. Kompostointi viemärilietteen hyödyntämiskeinona. Laudaturtyö Helsingin Yliopistossa. 109 s.

Koskela, I., Latostenmaa, H. & Puolanne, J. 1978. Konferenssi "Utilization of sewage sludge on land". Matkakertomus. 15 s.

Latostenmaa, H. 1974. Lietteiden kuljetus ja käsittely hyväksikäyttöalueella. Lietteiden hyväksikäytön tutkimustarve sarja A n:o 23. 14 s. SITRA. Helsinki.

Latostenmaa, H. 1978. Suullinen tiedonanto.

Oulun vesipiiri. 1978. Jätevesilietteen hyödyntämisen alueellisen yleissuunnitelman perusteosa. Moniste. 17 s. Julkaisematon.

Pellervo-Seura & Maatalouskeskusten liitto. 1978. Maatalouskalenteri. s. 116-124, 154-160.

Pessi, Y. 1976. Luonnonvarojen käyttö maataloustuotannossa. Tuottava maa osa 1. s. 72-82. Kirjayhtymä. Helsinki.

Ranta-Pere, V. 1971. Jätevesien puhdistuksen kustannuksista. Tiedotus 5. Vesihallitus. Helsinki.

Työtehoseura, 1971. Maatalouden työnormit. Työtehoseuran julkaisu 155. 2p. s.10-12. Helsinki.

Vesihallitus. 1977 c. Jätevesilietteen hyväksikäytön neuvottelupäivä 17.1.1977. Muistio. 1ls. Vesihallitus. Helsinki.

Viitasalo, I. 1977. Lietekomposti kaupungin vihertöissä. Muistio. 5s. Helsingin kaupungin rakennusvirasto, katurakennusosasto, vesiensuojelulaboratorio. Helsinki.

Erkki Kemppainen

KOMPOSTOINTI JÄTEVESILIETTEEN HYÖDYNTÄMISKEINONA

ENGLISH SUMMARY: Composting as a Means of Utilizing Waste Water Sludge

KOMPOSTOINTI VIEMÄRILIETTEEN HYÖDYNTÄMISKEINONA

SISÄLLYS

1. J O H D A N T O

Viemärilietteen kompostointi on lietteen hyödyntämisen lisäämispyrkimysten johdosta tullut ajankohtaiseksi lietteen käsittelyvaihtoehdoksi erityisesti sellaisilla paikkakunnilla, joilla kompostointiin tarvittavia seosmateriaaleja on saatavilla ja joilla kompostoinnin lopputuotteelle on kysyntää esimerkiksi viherrakennustarkoituksiin. Kajaanissa suoritettiin vuosina 1976 ja 1977 vesiensuojelumaksuvaroin täysimittakaavainen kompostointitutkimus, jossa pyrittiin selvittämään kompostoinnin tekniikkaa ja kompostoitujen tuotteiden käyttökelpoisuutta nurmikoiden perustamisessa. Tässä raportissa käsitellään tutkimuksen keskeisimpiä osia.

2. E L O P E R Ä I S E N A I N E E N H A J O A M I N E N L U O N N O S S A

2.1 HAJOAMISTAPAHTUMA, SEN AIHEUTTAJAT JA LOPPUTUOTTEET

Eloperäisen aineen hajoamista tapahtuu jonkin verran ympäristön fysikaalisten ja kemiallisten muutosten sekä materiaalissa tapahtuvien entsymaattisten reaktioiden tuloksena, mutta suurin merkitys on kuitenkin mikrobiologisella toiminnalla (Kononova 1961, s. 101). Pieneliöt käyttävät eloperäistä ainetta hiilen- ja energian lähteenään hajottaen näin materiaalin pienimolekyylisiksi yhdisteiksi. Mikrobiologisen hajotustoiminnan äärimmäisiä lopputuotteita ovat hiilidioksidi, vesi ja materiaalin sisältämät ravinteet epäorgaanisina yhdisteinä.

Samanaikaisesti hajoamistapahtuman kanssa tapahtuu maatuvassa aineessa uutta synteesitoimintaa, joka käyttää raaka-aineenaan hajoamisen välituotteita ja kuolleita mikrobisoluja. Tämän toiminnan tuloksena muuttuu osa materiaalin hiiliyhdisteistä humusaineiksi, jotka ovat hyvin resistenttejä mikrobiologiselle hajotustoiminnalle. Humusaineiden syntetisoituminen lienee hyvin suureksi osaksi fysikaalis-kemiallinen tapahtuma (Kononova 1961, s. 102).

Osittain maatunut eloperäinen aine sisältää humusaineiden lisäksi myös materiaalin hitaasti hajoavia ainesosia. Kasvisolukon aines-

osista rikastuu ligniini vaikeasti hajotettavana fraktiona usein maatuvaan ainekseen, kun taas selluloosa ja hemiselluloosa hajoavat melko nopeasti (Waksman ja Diehm 1929, Waksman ja Gerretsen 1931).

Eloperäisen aineen hajotessa sen lannoitus- ja maanparannusarvo kasvaa. Tämä johtuu toisaalta ravinteiden rikastumisesta ja materiaalin stabiloitumisesta. Toisaalta on tapahtumassa muodostuva humus erittäin arvokas maan fysikaalisten ominaisuuksien parantajana.

2.2 HAJOAMISNOPEUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Eloperäisen aineen hajoamisnopeus riippuu sen hiiliyhdisteiden hajotettavuudesta, lämpötilasta, kosteudesta, ravinnepitoisuudesta, aerobisuudesta ja materiaalin reaktiosta.

Hiiliyhdisteiden hajotettavuus riippuu helposti hajotettavien ainesosien osuudesta materiaalissa ja toisaalta hiiliyhdisteiden kappalekoosta. Helposti hajoavaa on esimerkiksi tuore ruoho, joka sisältää runsaasti yksinkertaisia sokereita ja sokeripolymeereja. Vaikeammin hajotettavaa on olki, jossa tukisolukon osuus on suuri (ligniini ja selluloosa). Tällä tavoin vaikuttaa myös ikä kasviaineksen hajotettavuuteen (Chang Yung ja Hudson 1967). Hiiliyhdisteiden kappalekoko vaikuttaa hajoamisnopeuteen siten, että pienihiukkainen materiaali hajoaa nopeammin suurina kappaleina oleva, koska hajoitustoiminnalle alttiiksi joutuva pinta-ala on suurempi (Neal ym. 1965).

Eloperäisen aineen hajoamisen on useissa tutkimuksissa todettu tapahtuvan nopeimmin mesofiilisella lämpötila-alueella, 30...45°C:n lämpötilassa (Kaila 1952, Carlyle ja Norman 1941). Kuitenkin saattaa vieläkin korkeammilla lämpötiloilla olla edullinen vaikutus maatumiseen, sillä on todettu, että 50°C:ssa ja 65°C:ssa muodostuu enemmän humusaineita kuin alemmissa lämpötiloissa (Kaila 1952).

Materiaalin kosteus on myös tärkeä hajoamisnopeuteen vaikuttava tekijä. Riittävä kosteus on tehokkaan hajoamisen edellytys, liiallinen vesipitoisuus saattaa kuitenkin hidastuttaa tapahtumaa anaerobien olosuhteiden syntymisen vuoksi. Edullisin vesipitoisuus riippuu hajoavan materiaalin kappalekoosta, sillä pienihiukkeinen aines pyrkii kostuessaan tiivistymään, jolloin happiolosuhteet huononevat.

Suuria kappaleita sisältävä materiaali saa puolestaan olla hyvinkin kosteata ilmastuksen siitä kärsimättä (Waksman ja Diehm 1929, Vaksman ja Gerretsen 1931, Jeris ja Regan 1973). Virkolan (1972) mukaan tapahtuu puunkuorirouheen hajoaminen tehokkaimmin 65...75 %:n vesipitoisuudessa.

Hajoavan materiaalin ravinnepitoisuus vaikuttaa hajoamisnopeuteen säätelemällä hajotustoimintaan osallistuvien pieneliöiden lukumäärää. Useimmiten hidas hajoaminen johtuu typen puutteesta, jolloin materiaalin stabiloituminen on hidasta (Kaila 1952). Edullisin typpipitoisuus riippuu kuitenkin voimakkaasti hajotettavan aineen hiiliyhdisteiden hajotettavuudesta, sillä esimerkiksi ligniini on niin vaikeasti hajoavaa, ettei ravinnelisäys sanottavasti tehosta sen maatumista. On arvioitu, että kasviaineksen hajoamisnopeus ei kärsi typen puutteesta, kun materiaalin hiili-typpisuhde on 25 : 1...50 : 1 (Alexander 1964, s. 140).

Eloperäisen aineen hajoaminen on yleensä nopeinta hyvin ilmastetussa ympäristössä. Hapettomissa olosuhteissa kertyy materiaaliin usein happamia hajoamisvälituotteita, jotka rajoittavat pieneliötoimintaa. Nykvistin (1969) suorittamissa kokeissa oli puunkuorirouhe menettänyt 42 vuorokauden aikana painoaan hapekkaissa oloissa 14,2 %, vastaava painohäviö oli hapettomissa oloissa vain 6,0 %. Tatsunon (1964) mukaan rajoittavat hapettomat olosuhteet voimakkaasti myös humusaineiden muodostumista.

Eloperäinen materiaali hajoaa tehokkaimmin lähellä neutraalia olevassa reaktiossa. Liiallista happamuutta voidaan neutraloida kalkilla, kuten Kalifornian yliopistossa suoritetuissa kokeissa, joissa kalsiumkarbonaattilisäys tehosti kasviaineksen hajoamista huomattavasti (Ref. Gray ym. 1971).

3. KOMPOSTOINNIN VAIKUTUS HAJOAMISEEN

3.1 HAJOTUSTOIMINNAN TEHOSTAMINEN

Määrätietoisessa kompostoinnissa pyritään tehostamaan eloperäisen aineen hajoamista säätelemällä olosuhteet hajottajapieneliöstön

kasvulle ja toiminnalle mahdollisimman suotuisiksi. Kompostiin muodostuva käymislämpö suosii suurta hajottajapieneliöstöä. Kohoava lämpötila nopeuttaa kasviaineksen hajoamista (Kaila 1952), ja vaikeasti hajotettavat ainesosat (ligniini) joutuvat tällöin hajotustoiminnan kohteeksi (Waksman ja Gerretsen 1931). Hajoamisen tehostamiseksi on eloperäiseen aineeseen tavallisesti lisättävä ravinteita. Tärkeimmäksi on osoittautunut typpilisäys, jonka suuruudeksi Virkola (1972) suosittaa puunkuoren kompostoinnissa 1...2 % kuoren kuivapainosta.

Tehokkaan kompostoitumisen varmistamiseksi on kompostikasaa usein ilmastettava. Myös riittävän kosteuden ja edullisen reaktion varmistaminen kuuluvat määrätietoisen kompostoinnin työvaiheisiin.

3.2 JÄTEAINEEN VAARATEKIJÖIDEN POISTAMINEN

Kun kompostointia on alettu käyttää jäteaineiden hyödyntämisessä, on tärkeäksi näkökohdaksi tullut sen vaikutus taudinaiheuttajapieneliöiden tuhoutumiseen ja myrkkyjen vaarattomaksi tekemiseen. Patogeeniset pieneliöt ovat yleensä mesofiilejä eivätkä säily elävinä korkeissa lämpötiloissa. Tämän vuoksi on edullista, jos kompostin lämpötila saavuttaa 55°C...65°C. Golueke ja Gotaas (1954) ovat todenneet useiden ihmiselle vaarallisten pieneliöiden ja loisten tuhoutuvan tässä lämpötilassa jo yhden tunnin aikana.

Korkean lämpötilan vaikutuksen lisäksi on kompostointimateriaalia hygienisoiva vaikutus osoitettu olevan kompostimikrobiston välisillä antagonistisilla prosesseilla (Knoll, Ref. Gray ym. 1971), kompostin huolellisella ilmastukselle (Krogstad ym. 1975) ja riittävällä vesipitoisuudella (Jansen ja Kunst 1953).

Kompostoinnin on havaittu nopeuttavan myös orgaanisten myrkkyjen hajoamista (Nilsson ja Valdmaa 1974, Roszinski ja Herzel 1972). Lisäksi on kyetty osoittamaan, että raskasmetallien pidättyminen eloperäiseen ainekseen voimistuu kompostoinnin aikana (Huhta ym. 1978).

4. VIEMÄRILIETE KOMPOSTOITAVANA AINEENA

Viemäriliete on useissa tutkimuksissa osoittautunut hyväksi lannoitus- ja maanparannusaineeksi (Suomessa mm. Latostenmaa ym. 1974, Niskanen 1972). Latostenmaan (1976) mukaan vastaa liete maan tuottokykyä parantavilta ominaisuuksiltaan lähinnä karjanlantaa. Tämä lietteen ravinnepitoisuus tekee siitä hyvin arvokkaan kompostointimateriaalin, varsinkin vähäravinteisen kasviaineksen kanssa (esim. kuorirouhe), sillä kalliita väkilannoiteita ei tarvitse käyttää mikrobiston solunrakennusaineeksi.

Jätevedenpuhdistamoille syntyvän lietteen kuiva-ainepitoisuus on tavallisesti 0,5...30 % (Puolanne 1976). Suuren vesipitoisuutensa ja hienojakoisuutensa vuoksi ei liete hajoa aerobisesti yksinään, vaan sen kompostoinnissa on käytettävä kasan ilmatilaa suurentavaa seosainetta. Seosaineena on onnistuneesti käytetty turvetta (Anon 1976a), kuorirouhetta (Hallenberg 1966) ja kaupunkijätettä (Kick ym. 1959). Edullisimmillaan lietteen kompostointi on luonnollisesti sellaisen seosaineen kanssa, joka ei aiheuta lisäkustannuksia ja on itsekin ongelmallinen käsiteltävä (kaupunkijäte). Seosaineen tarve määräytyy lähinnä lietteen vesipitoisuuden ja seosaineen tiivistymistaipumuksen perusteella.

Viemärilietteen käyttö kompostoinnissa edellyttää tavallisesti kasan ilmastamista, joka voidaan suorittaa joko kompostin perustamisvaiheessa kasan sisään sijoitettavilla kanavilla (Sundman ja Huhta 1976) tai kompostoitumisen aikana kasaa kääntelemällä (Anon 1976a). Kasan kääntelemisen avulla suoritetun ilmastamisen eduksi on havaittu kompostin parempi hygienisoituminen (Krogstad yn. 1975).

5. KOMPOSTIN LANNOITUS - JA MAANPARANNUSOMINAISUUDET

Kompostoinnin kuluessa tapahtuu seoksessa painohäviötä osan hajoamistuotteita haihtuessa kaasuina ilmakehään. Myös vesiliukoisten tuotteiden joutuminen pois kompostista on mahdollista. Tämän vuoksi rikastuvat kasvinravinteet kompostiin, elleivät ne itse kuulu pois haihtuviin tai vesiliukoisina menetettäviin yhdisteisiin.

Kompostista tapahtuu lähes aina ravinnehäviöitä, jotka suuressa mittakaavassa tapahtuneina saattavat tehdä koko prosessin epätaloudelliseksi. Suuria typpihäiviöitä kompostoinnin yhteydessä ovat todenneet mm. Krogstad ym. (1975) ja Acharya ym. (1945). Typen häviön on esitetty tapahtuvan ammoniakin haihtumisena ja denitrifikaationa.

Vaikka komposti tavallisesti konsentroikin ravinteita, ovat ne valmiissa kompostihumuksessa suureksi osaksi orgaanisessa muodossa, ja lannoitusvaikutus on hidas. Onkin voitu todeta, että usein saadaan parempi satotulos käyttämällä lannoitteena tuoretta kasvimateriaalia ja väkilannoitteita kuin käyttämällä näiden kompostoitua seosta (Anon 1951). Samaan ilmiöön, ravinteiden sitoutumiseen, viittaa myös Kickin ym. (1959) saama tulos asumajätekompostin lannoitusarvosta. Tutkijat totesivat, että vaikka kompostin ravinnepitoisuudet vastasivatkin tärkeimmiltä osiltaan karjanlannan pitoisuuksia, oli ravinteiden käyttökelpoisuus kompostissa pienempi kuin lannassa.

Jotta kompostin lannoitusvaikutus saataisiin mahdollisimman voimakkaaksi, on kompostin annettava stabiloitua kunnolla. Nopeassa hajoamisvaiheessa oleva kompostihumus saattaa nimittäin aiheuttaa vioituksia kasveihin (Roszinski 1970). Selityksenä vioituksille on pidetty kasvualustan happivajetta raakaa kompostia käytettäessä ja toisaalta maanesteen väkevöitymistä materiaalista vapautuvien suolojen vaikutuksesta (Anon 1976a).

Lietekompostihumuksen lisälannoitustarvetta tutkiessaan saivat Kick ym. (1959) tulokseksi, että voimakkain lannoitusvaiktus oli yksittäin annetuista ravinteista typellä. Lannoitekombinaatioita tutkittaessa taas osoittautui typpi-fosforiyhteisvaikutus erittäin merkitseväksi.

6. K O M P O S T O I N T I K O K E E T

Kajaanissa suoritettiin vuosina 1976 ja 1977 viemärilietteen kompostointitutkimus, jossa pyrittiin selvittämään asumajätevesilietteen kompostoitumista sekä lietekompostien lannoitus- ja maanparannusarvoa. Kompostointikokeissa käytettiin seosaineena puunkuorirouhetta, jonka ohella muutamiin komposteihin sekoitettiin kuitulietet-

tä ja lentotuhkaa. Kompostien lannoitus- ja maanparannusarvon selvittämiseksi suoritettiin viljelykokeita, joissa koekasvina käytettiin Italian raiheinää. Tarkoituksena oli tutkia viemärilietekompostien sopivuutta nurmikon kasvualustaksi. Viljelykokeita suoritettiin sekä kenttäkokeina että astiakokeina.

Kompostointikokeissa pyrittiin löytämään edullisin seossuhde viemärilietteen kompostoinnille puunkuorirouheen kanssa. Erityistä huomiota kiinnitettiin kompostoitumisasteeseen ja ravinteiden pitoisuuksien muutoksiin hajoamistapahtuman aikana. Viljelykokeissa verrattiin eri tavoilla perustettujen kompostien kasvualusta-arvoa keskenään, kompostihumuksia verrattiin myös multaan. Lisäksi tutkittiin kompotoinnin vaikutusta viemärilietteen lannoitus- ja maanparannusarvoon.

Kompostointikokeissa olivat tärkeimpiä tutkimuskohteita edullisimman liete-seosainesuhteen löytäminen ja seosaineen maatumisasteen vaikutuksen selvittäminen. Edelleen tutkittiin lentotuhkan ja kuitulietteen vaikutusta liete-kuoriseosten kompostoitumiseen sekä kompostien ilmastamisen tarvetta. Lisäksi tehtiin huomioita kompostointiajasta, kompostoinnin työmenekistä ja kustannuksista.

Eri tavoin perustettuja komposteja keskenään vertailtaessa olivat tärkeimpinä arvosteluperusteina kasojen lämpötilan kehittyminen, maatumisaste ja ravinnehäviöiden suuruus. Kompostien lämpötilan mittauksilla pyrittiin saamaan kuva hajotustoiminnan tehokkuudesta ja toisaalta arvioimaan lietteen hygienisoitumisastetta. Maatumisasteen ja ravinnehäviöiden suuruuden määrittämisellä pyrittiin selvittämään kompostoinnin vaikutus lietteen lannoitus- ja maanparannusarvoon.

6.1 KOEJÄRJESTELY

Kompostointialueena oli Kajaanin kaupungin lietteen varastointialueeksi raivaama aukio, jonne kompostointimateriaalit kuljetettiin kuorma-autolla Peuraniemen jätevedenpuhdistamolta, Kajaani Oy:n kaatopaikalta ja Kajaani Oy:n tehdasalueelta. Koealueen pinnanmuodostus oli tutkimuskesinä hieman epätasainen ja maapohja pysyi märkänä ympäröivästä metsästä valuvan veden vuoksi, mitkä tekijät vaikeuttivat konetyöskentelyä alueella.

Kokeissa käytettiin Peuraniemen jätevedenpuhdistamon lietettä, joka on kalkkistabiloitua ja suotonauhapuristimella kuivattua. Seosaineena käytettiin kahta maatumisasteeltaan erilaista puunkuorirouhetta. Tuore kuorirouhe, joka saatiin Kajaani Oy:n tehtailta, oli suurirakeista kuohkeata massaa, jolla oli taipumusta itselämpenemiseen varastokasassa. Maatunut kuorirouhe, jolla tätä ominaisuutta ei enää ollut, saatiin Kajaani Oy:n kaatopaikalta. Kaatopaikalla maatuessaan oli tämä vanha kuorirouhe muuttunut tasarakeiseksi, tiiviiksi massaksi. Ero näiden kuorimateriaalien maatumisasteessa oli havaittavissa paitsi itselämpenemiskyvyssä myös tuhka- ja ravinnepitoisuuksissa. Peuraniemen lietteen sekä seosaineena käytettyjen kuorilajien analyysituloksia on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Peuraniemen puhdistamon lietteen sekä maatumisasteeltaan erilaisten kuorirouheiden analyysituloksia.

Table 1. Analytical results of the sludge from the Peuraniemi sewage treatment plant and variosly decayed bark.

Analyysi *Analysis*			Liete *Sludge*	Tuore kuori *Fresh bark*	Maatunut kuori *Decayed bark*
pH			11,0	5,4	5,5
TS	%		18,4	45,4	22,9
Tuhka	*Ash*	% TS	69,10	3,32	20,90
N	%	"	1,63	0,24	0,67
P	g/kg	"	8,75	0,76	1,00
K	"	"	0,35	0,83	0,41
Ca	"	"	274,00	12,7	13,7
Mg	"	"	31,00	0,68	0,88
S	"	"	2,40	0,62	0,55
C	%	"	20,61	54,28	56,70
C/N			12,64	226,17	84,63

Kompostointikokeissa käytettiin muutamissa aumoissa lietteen ja kuoren ohella myös Kajaani Oy:n tehtailla polttojätteenä syntyvää lentotuhkaa. Käytetty tuhka otettiin aikana, jolloin tehtailla poltettiin jätelipeätä. Tuhkasta ei teetetty kemiallista analyysiä, mutta Kajaani Oy:n mukaan sisältää vastaavanlainen tuhka neutraloivaa kalkkia (CaO) 40...60 % riippuen jätelipeän määrästä poltettavassa aineessa. Kalsiumin lisäksi sisältää tuhka kasvinravinteista myös kaliumia, fosforia ja magnesiumia merkityksellisiä määriä.

Kahdessa kompostiaumassa käytettiin viemärilietteen ja kuorirouheen ohella myös Kajaani Oy:n tehtailla syntyvää kuitulietettä. Saostusaltaista nostetun ja sen jälkeen kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus (TS) oli noin 10 %, olomuodoltaan se oli lähes nestemäistä. Kuitulietteessä oli hiiltä 46,5 %, typpipitoisuus oli 0,21 %.

Lietteen kompostoinnissa käytettävän seosaineen käytön tarpeen selvittämiseksi perustettiin komposteja liete-kuorisuhteilla 1 : 1... 1 : 4. Pyrkimyksenä oli seosaineen käytön minimointi, sillä käytännössä kuorirouheesta joudutaan usein maksamaan, ja sen suuri käyttömäärä laskee kompostin ravinnepitoisuutta. Lentotuhkan suhteellista käyttömäärää valittaessa kiinnitettiin huomiota sen emäksisyyteen - tuhka-vesilieteseoksen pH oli yli 12. Tämän vuoksi olivat tuhkan käyttömäärät komposteissa suhteellisen pieniä. Kuitulietteen käyttömäärää valittaessa olivat perusteina vuorostaan lietteen suuri vesipitoisuus ja niukkaravinteisuus, joiden tekijöiden vuoksi kuitulietteen osuutta koekomposteissa ei nostettu suuremmaksi kuin 25 % kokonaistilavuudesta. Kokeissa käytetyt eri materiaalien seossuhteet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Koekompostien seossuhteet, käytetty kuorilaji ja ilmastustapa.
Table 2. Ratios of mixtures in experimental composts, type of bark and method of aeration.

Komposti n:o *Compost n:o*	Tilavuussuhde liete - kuori - tuhka - kuituliete *Volyme ratio sludge- bark - ash - fiber sludge*				Ilmastustapa *Method of aeration*	Kuorilaji *Type of bark*
1	1	1	-	-	kääntely	maatunut
2	1	2	-	-	*turning*	*decayed*
3	1	3	-	-	"	"
4	1	4	-	-	"	"
5	1	1	-	-	kanava	"
6	1	2	-	-	*duct*	"
7	1	3	-	-	"	"
8	1	4	-	-	"	"
9	1	3	1	-	kääntely	tuore
10	2	5	1	-	*turning*	*fresh*
11	3	6	1	-	"	"
12	-	3	1	-	"	"
13	1	3	-	-	"	"
14	1	3	-	-	"	maatunut
15	1	2	-	1	"	*decayed*

Komposteja ilmastettiin kahdella eri tavalla (taulukko 2). Ilmastaminen suoritettiin joko kompostin perustamisvaiheessa kasan alle sijoitetun kanavan avulla tai kasaa kompostoitumisen aikana kääntelemällä. Ilmastuskanavat olivat tasakylkisen kolmion muotoisia laudasta rakennettuja kehikoita, joiden poikkileikkausala oli 0,5 m^2 ja kokonaistilavuus 4 m^3. Kääntelemällä tapahtuvaa ilmastamista suoritettiin kolmella erikokoisella kauhakuormaajalla ja yhdellä etukuormaajalla varustetulla traktorilla.

Kompostit valmistettiin sekoittamalla lähtömateriaalit tilavuussuhteessa kauhakuormaajan avulla ja kasaamalla näin saatu seos auman muotoon. Auman korkeus oli 1,5...1,8 m, leveys 3,5 m ja pituus 8 m. Kaksi kompostia perustettiin kasan muotoon, jolloin kasan korkeus ja leveys olivat samat kuin aumakomposteissa.

Koekomposteista suoritettiin jatkuvasti lämpötilamittauksia sekä pH- ja kosteusmäärityksiä. Lämpötila mitattiin jokaisena arkipäivänä kustakin kompostista yhdeksästä eri kohdasta: kompostin pituussuuntaisesti kolmesta kohdasta 20 cm:n syvyydestä, 70 cm:n syvyydestä ja aivan kompostin pohjalta. Näistä yhdeksästä arvosta laskettu keskiarvo edustaa ko. mittauspäivän lämpötilaa kompostien lämpötilakäyrässä. Kosteusmäärityksiä varten kuivattiin kompostinäytteet lämpökaapissa 105°C:n lämpötilassa. Kompostien pH määritettiin kerran viikossa 0,01 M $CaCl_2$-lietoksesta, jossa kompostimassaa ja suolaliuosta oli suhteessa 2 : 5. Lisäksi tutkittiin kompostoituneiden seosten hygienisoitumista määrittämällä niistä entrobakteerien lukumääriä. Määritykset tehtiin kalvosuodatusmenetelmällä (Anon 1976 b).

Kompostoituneista seoksista teetettiin kemiallisia analyysejä Viljavuuspalvelu Oy:ssä Helsingissä. Lisäksi tutkittiin kompostoitavia materiaaleja ja kompostoituneita seoksia Helsingin yliopiston maanviljelyskemian ja -fysiikan laitoksella, jossa määritettiin kompostoitumisen aikana tapahtuneita hiilen ja typen pitoisuuden muutoksia.

6.2 KOMPOSTOINTIKOKEIDEN TULOKSET

6.2.1 Muutokset hiilen ja typen pitoisuudessa, maatumisaste

Kompostointimateriaalien ja kompostien hiili- ja typpipitoisuuksia on esitetty taulukossa 3. Lisäksi taulukkoon on merkitty edellisistä analyysituloksista lasketut arvot: hiilen pitoisuuden vähenemä, typen pitoisuuden vähenemä, hiili - typpisuhde ja muutos hiili - typpisuhteessa. Tulokset on esitetty 31.12.1976 ja 20.8.1977 otetuista näytteistä, jolloin vastaavat kompostoitumisajat ovat 5...6 ja 13...14 kuukautta.

Tuloksista voidaan havaita, että vaikka hiilipitoisuus kompostoitumisen aikana on alentunut huomattavastikin, on tulos useimmissa tapauksissa epäedullinen hiili - typpisuhteen kehittymisen suhteen. Tämä selittyy erittäin suurilla typpihäviöillä - typen pitoisuuden pieneneminen on muutamassa kompostissa jopa 48 % kokonaistypen pitoisuudesta alussa. Kun kompostit pysyivät kuitenkin lämpimänä suhteellisen pitkään ja hiilipitoisuus on alentunut huomattavastikin, ei muutosta C/N - suhteessa voitane pitää kovin hyvänä mittana kompostoitumisasteelle.

On hyvin perusteltua olettaa, että kompostimikrobisto aloittaa hajoitustyönsä käyttäen lietteen hiili- ja ravinnevaroja ja, varsinkin maatuneen kuorirouheen ollessa seosaineena käyttää lietteen hiilen hyvin tarkkaan, ennen kuin puunkuoren resistentit yhdisteet otetaan energialähteeksi. Tuore kuorirouhe, joka osittain sisälsi myös puuainesta, on paljon helpommin hajoitettavaa kuin maatunut kuori, mutta myös sitä sisältäneissä komposteissa lienee liete ollut ensisijainen energia- ja ravinnelähde hajoittajapieneliöstölle. Tämän mukaan voidaan päätellä lietteen joutuneen erittäin voimakkaan hajoitustoiminnan kohteeksi myös niissä komposteissa, joissa hiilen pitoisuuden vähenemä on ollut pientä. Näin kompostointi on täyttänyt tehtävänsä lietteen hajoittamiskeinona, mikä piti paikkansa myös silmämääräisesti arvioituna. Tätä tukee myös useimmissa komposteissa havaittu C/N - suhteen kohoaminen, sillä kompostista hävinneen typen on oltava peräisin lietteestä - onhan kuorirouheen typpipitoisuus hyvin alhainen ja sen typpiyhdisteiden käyttökelpoisuus pieni.

Taulukko 3. Kompostointimateriaalien ja kompostien ravinnepitoisuuksia sekä näistä laskettuja arvoja.

Table 3. Nutrient figures and derived values of compost materials and compost.

Materiaali *Material*	C (% TS) alussa *at first*	C (% TS) 31.12.76	C (% TS) 20.8.77	N (% TS) alussa *at first*	N (% TS) 31.12.76	N (% TS) 20.8.77	C/N-suhde alussa *C/N-ratio at first*	Muutos C/N-suhteessa (%) 31.12.76 *Chauge in C/N-ratio*	Muutos C/N-suhteessa (%) 20.8.77
Liete *Sludge*	20,61			1,63			12,64		
Uusi kuori *Fresh bark*	54,28			0,24			226,17		
Vanha kuori *Decayed bark*	56,70			0,67			84,63		
Komposti 1 *Compost*	35,44	30,10	29,28	1,24	0,65	0,74	28,58	+17,73	+10,58
" 2	41,97	35,72	-	1,06	0,62	-	39,60	+18,01	-
" 3	45,02	31,32	27,46	0,98	0,53	0,54	45,94	+13,15	+ 4,91
" 4	47,19	38,84	-	0,92	0,48	-	51,29	+29,63	-
" 9	44,68	31,58	28,83	0,64	0,36	0,40	69,81	+17,91	+ 2,27
" 10	43,36	30,67	-	0,69	0,40	-	62,84	+13,84	-
" 11	41,68	29,36	32,31	0,76	0,65	0,60	54,84	- 9,67	- 0,99
" 12	40,71	38,47	-	0,18	0,17	-	226,17	+ 0,12	-

Materiaali *Material*	Hiilipitoisuuden vähenemä *Reduction in C (%)* 31.12.76	Hiilipitoisuuden vähenemä *Reduction in C (%)* 20.8.77	Typpipitoisuuden vähenemä *Reduction in N (%)* 31.12.76	Typpipitoisuuden vähenemä *Reduction in N (%)* 20.8.77
Komposti 1 *Compost*	15,07	18,23	47,58	40,32
" 2	14,89	-	41,51	-
" 3	30,43	39,00	45,92	44,90
" 4	17,69	-	47,83	-
" 9	29,32	35,47	43,75	37,50
" 10	29,27	-	42,03	-
" 11	29,56	22,48	14,47	21,05
" 12	5,50	-	5,56	-

Lietteen typen mobilisoituminen kompostista häviävään muotoon (ammoniakki, typpikaasu, typen oksidit) on taas vaatinut lietteen hajoamisen.

Jos verrataan komposteja toisiinsa hiili - typpisuhteen muutoksen perusteella, havaitaan, että maatunutta kuorirouhetta käyttäen oli paras seossuhteella 1 : 3 perustettu komposti. Tuloksen huononeminen lietemäärän kasvaessa selittyy kompostin ilmastuksen heikkenemisellä, jolloin denitrifikaation osuus on kasvanut. Tuoretta kuorirouhetta sisältäneissä komposteissa taas huomataan tuloksen parantuneen lietteen osuuden kasvaessa, minkä mukaan kompostin ilmastus ei ole ollut aerobia hajoitustoimintaa rajoittavana tekijänä näissä komposteissa suurillakaan lietemäärillä. Tuoretta kuorirouhetta sisältäneissä komposteissa korreloivat C/N - suhteen muutos epäedullisemmaksi ja typpihäviöiden suurentuminen käytetyn lentotuhkan osuuden lisääntymisen kanssa, minkä perusteella voidaan olettaa tuhkan aiheuttaneen typpihäviöitä emäksisyytensä vuoksi.

Vaikkakin komposti liete - kuoriseossuhteella 1 : 3 on hiili - typpisuhteen muutoksen perusteella paras maatuneella kuorella perustetuista komposteista, ei se välttämättä ole paras lannoitus- ja maanparannusarvoltaan. Taulukosta 3 voidaan nimittäin päätellä, että kompostin typpipitoisuus oli lopussakin kaikissa tapauksissa sitä suurempi mitä enemmän siihen oli lietettä sijoitettu.

Verrattaessa kompostien ravinnepitoisuuksia 31.12.1976 ja 20.8.1977 otettujen näytteiden perusteella voidaan päätellä, että komposteissa on tapahtunut vielä huomattavia muutoksia sen jälkeen kun aumojen lämpötila oli laskenut ulkoilman lämpötilan tasolle (31.12.1976). Yleisesti voidaan sanoa, että typpipitoisuus on tällöin kasvanut ja hiilipitoisuus laskenut. Typpipitoisuuden nousu johtunee suurimmaksi osaksi materiaalin painohäviöstä, kun hiilipitoisuus on laskenut. On myöskin mahdollista, että komposteissa on tässä kypsymisvaiheessa tapahtunut atmosfäärisen typen sidontaa (vrt. Acharya ym. 1946).

Typen häviäminen kompostista tapahtunee lähinnä ammoniakin haihtumisena alkaalisessa ympäristössä ja denitrifikaationa eli nitraattityppen mikrobiologisena pelkistymisenä haihtuvan kaasun muotoon. On myös mahdollista, että nitraattityppeä on menetetty kompostista

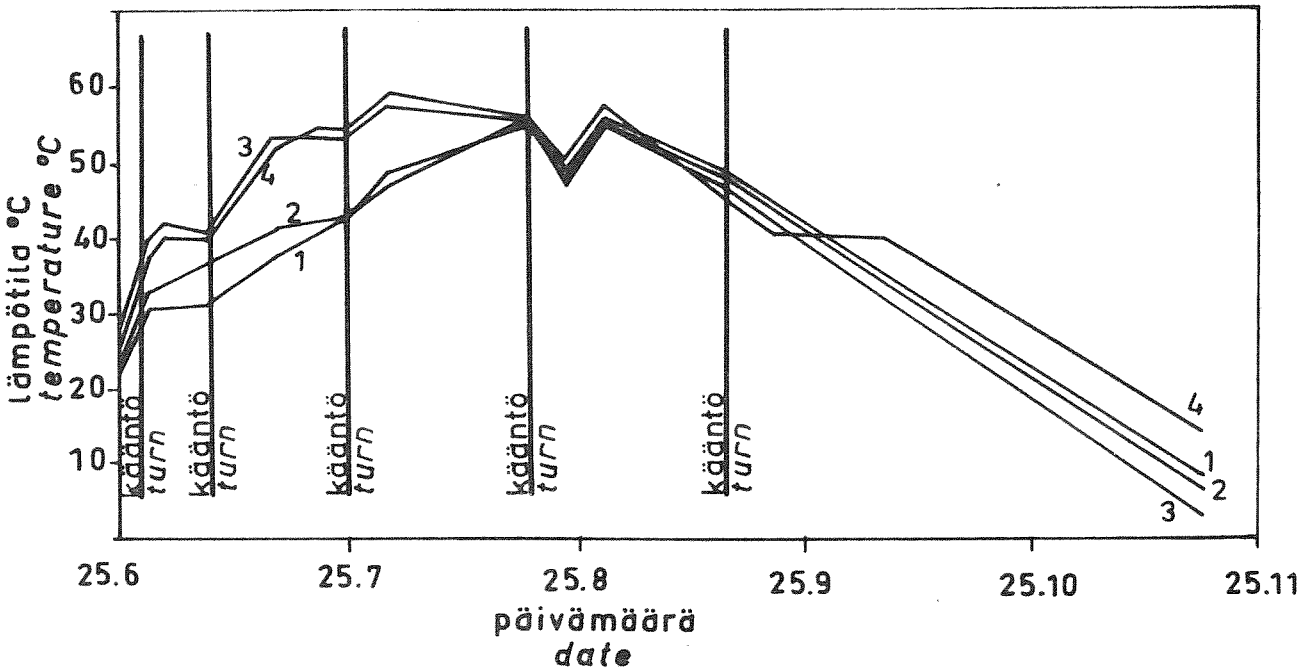
maahan valuvan veden mukana. Komposteista tehtyjen pH-mittausten mukaan niiden reaktio oli voimakkaasti alkaalinen ainoastaan hyvin lyhyen ajan hajoamisen alkuvaiheessa, minkä perusteella ammoniakin haihtumisen on täytynyt tapahtua aivan kompostoitumisen alkuvaiheessa. Toinen selitys on tietenkin se, että happamuus vaihteli eri osissa kompostia koko hajoamistapahtuman ajan eikä tämä ilmennyt tavanomaisissa pH-mittauksissa. Samoin on mahdollista, että vaikka kompostit lämpötilakäyrien perusteella toimivat aerobisti (korkeat lämpötilat), on denitrifikaatiota tapahtunut erillisissä hapettomissa pesäkkeissä. Suuret typpihäviöt osoittavat, ettei käytetty seosaine kyennyt täyttämään yhtä tärkeimmistä tehtävistään - hajoamisessa vapautuvien ravinteiden pidättämistä.

6.2.2 Liete-kuorisuhteen vaikutus kompostoitumiseen

Eri seossuhteiden vaikutuksen selvittämiseksi oli tarkoitus löytää edullisin liete-kuorisuhde kompostoinnin onnistumiselle. Tärkeimpänä arvosteluperusteena oli kompostiin kehittyvä lämpötila nimenomaan lietteen hygieenisten vaaratekijöiden poistamiseksi.

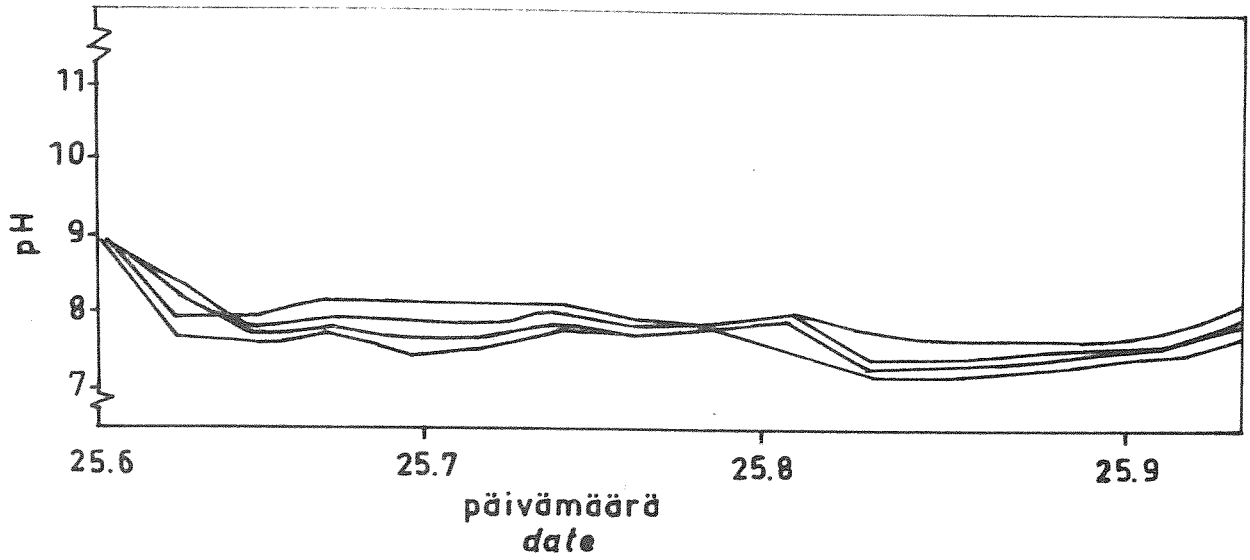
Maatuneella kuorirouheella perustettujen kompostien 1...4 lämpötilakäyrät on esitetty kuvassa 1. Lämpötilakäyristä voidaan havaita kompostien 3 ja 4 (liete-kuorisuhde 1 : 3 ja 1 : 4) paremmuus alkulämpenemisessä verrattuna komposteihin 1 ja 2. Nämä erot tasoittuivat kuitenkin koekauden kuluessa, ja suurillakin lietemäärillä perustetut aumat saavuttivat yli 50°C:n lämpötilan. Kalkkilietteen kompostointi näytti siis sujuvan kompostiin kehittyvän lämpötilan perusteella lähes yhtä hyvin kaikissa koeaumoissa liete-kuorisuhteesta riippumatta. Syy kompostien 1 ja 2 muita aumoja hitaampaan lämpenemiseen alussa oli luultavasti lietteen suuren käyttömäärän aiheuttamassa osittaisessa anaerobisuudessa, sillä kääntely näytti parantavan lämpötilan kehittymistä niissä. Toinen mahdollisuus on, että lietteen suuren käyttömäärän aiheuttama emäksisyys olisi hidastanut alkulämpenemistä. Suuria eroja kompostien pH:ssa ei koko koekautena kuitenkaan ollut (kuva 2).

Kosteusmääritysten perusteella voitiin päätellä, että kaikki maatuneella kuorirouheella perustetut kompostit olivat hyvin märkiä koko



Kuva 1. Lämpötilakäyrät komposteissa 1...4(seosaineena maatunut kuorirouhe). Liete-kuorisuhde oli 1:1 kompostissa 1, 1:2 kompostissa 2. 1:3 kompostissa 3 ja 1:4 kompostissa 4.

Fig. 1. Temperature curves of composts 1...4 (using decayd bark). The sludge-bark ratio was 1:1 in compost 1, 1:2 in compost 2, 1:3 in compost 3 and 1:4 in compost 4.



Kuva 2. Kompostien 1...4 pH.

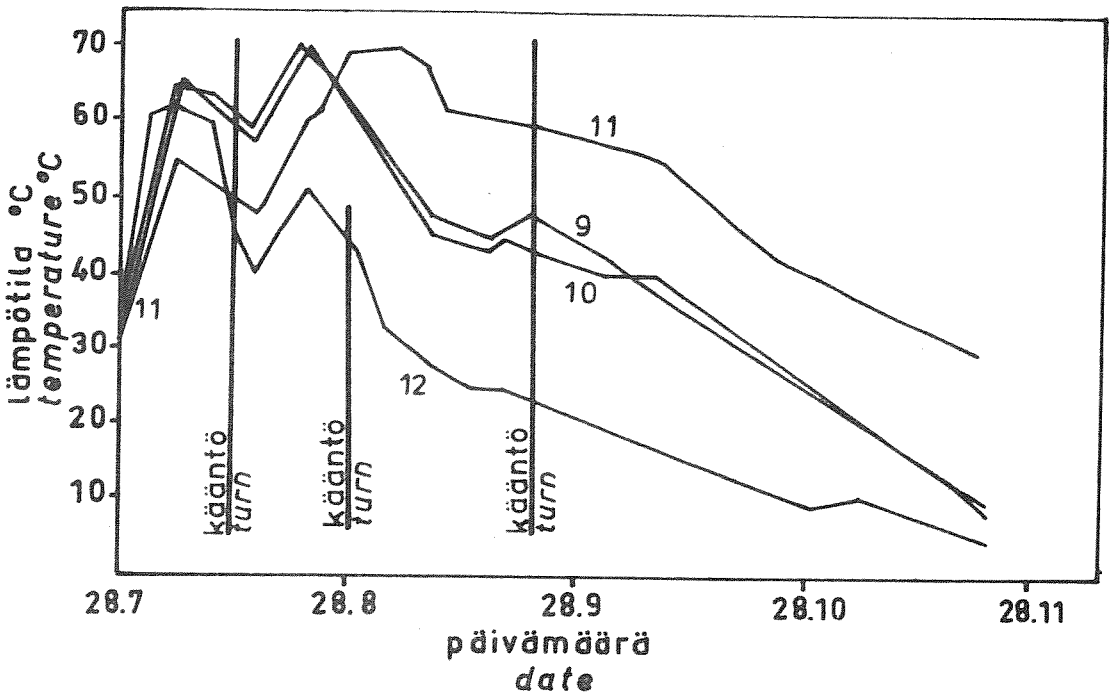
Fig. 2. pH of composts 1...4.

koekauden ajan. Suuria eroja eri kompostien kosteudessa ei ollut. Vesipitoisuus oli alussa 72...76 % tuorepainosta, kahden ensimmäisen kompostointikuukauden aikana kosteus laski keskimäärin 8 %. Kokeiden tuloksia laskettaessa voitiin havaita, ettei vesipitoisuus ole erityisen hyvä arvosteluperuste kompostin aerobisuutta arvioitaessa ainakaan maatuneella kuorella perustetuissa aumoissa. Tämä johtuu siitä, että lietteen lisäksi myös kuorirouhe oli erittäin märkää (77 % vettä). Kaikki kompostit olivat lähes yhtä kosteita liete-kuorisuhteesta riippumatta.

Syksyllä 1976 suoritetuissa bakteerimäärityksissä saatiin tulokseksi, että kompostit 1...4 sisälsivät vielä kolmen kompostoitumiskuukauden jälkeen suolistoperäisiä pieneliöitä. Kesällä 1977 samoista komposteista otetuissa näytteissä ei enterobakteereita kuitenkaan enää tavattu kuin aivan satunnaisesti. Kompostin varastointi kylmän kauden yli saattaa näin ollen jonkin verran parantaa sen hygieenisyysastetta. On kuitenkin huomattava, että suolistoperäisten mikrobien lukumäärä laski erittäin voimakkaasti myöskin kompostoinnin aikana.

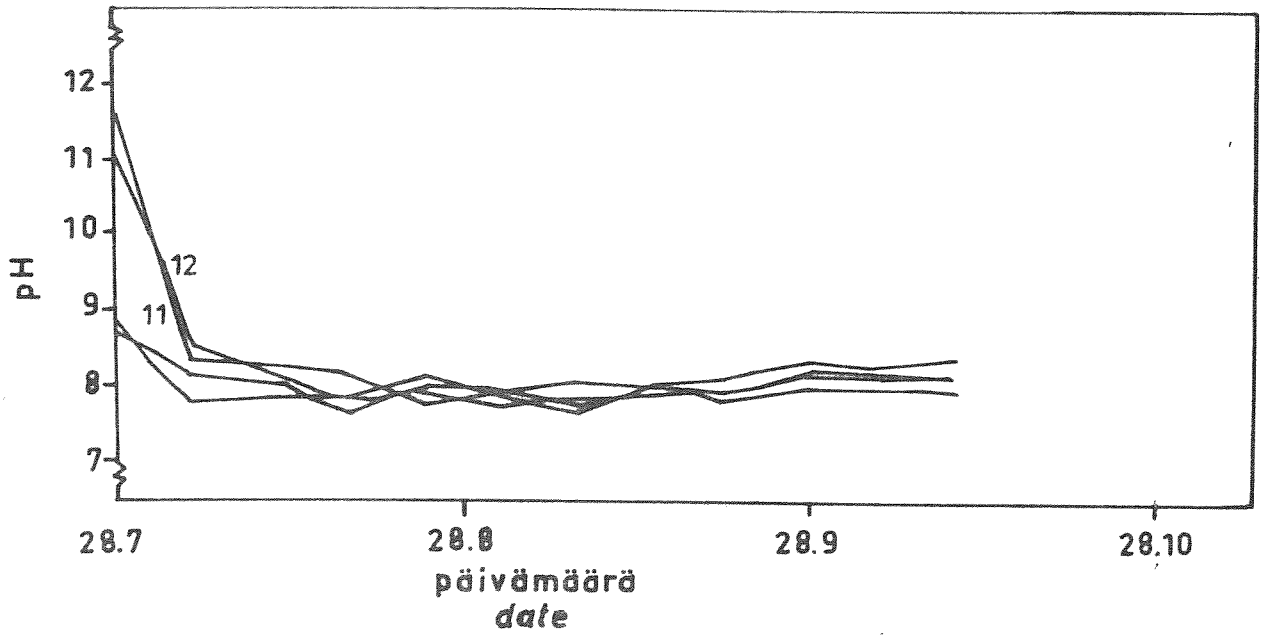
Tuoreella kuorirouheella perustettujen kompostien lämpötilakäyrät on esitetty kuvassa 3. Näiden kompostien lämpötilan kehittymisestä nähdään selvästi lietteen vaikutus kompostoitumiseen suotuisissa ilmastusolosuhteissa (tuoreen kuoren kuohkeus ja pieni vesipitoisuus). Mitä enemmän lietettä kompostiin sijoitetaan, sitä enemmän hajoittajapieneliöstölle on ravinteita, ja sitä pidempiaikainen ja korkeampi lämpötila kompostiin muodostuu. Myös kompostointitulos on eniten lietettä sisältäneellä kompostilla 11 parempi kuin muilla; hiilen pitoisuuden pieneneminen on ollut voimakasta, typen häviö taas pientä. Kompostien 9...12 seossuhteet valittiin vain vähän lietettä sisältäviksi, koska pelättiin näissä komposteissa käytetyn tuhkan nostavan seosten pH:n hajoitustoiminnan ehkäisevälle tasolle. Tuhkan emäksisyys ei kuitenkaan näyttänyt suuremmalti haittaavan pieneliötoimintaa - kompostien pH laski alun emäksisyydestä nopeasti lähelle neutraalia reaktiota (kuva 4).

Enterobakteerien määrityksessä havaittiin myös kompostien 9...12 sisältävän niitä syksyllä 1976. Tulos on kuitenkin epäilyttävä, kun otetaan huomioon näiden kompostien saavuttamat korkeat lämpötilat



Kuva 3. Lämpötilakäyrät komposteissa 9...12 (seosaineena tuore kuorirouhe). Suhdeluvut liete-kuori-tuhka olivat 1:3:1 kompostissa 9, 2:5:1 kompostissa 10, 3:6:1 kompostissa 11 ja -:3:1 kompostissa 12.

Fig. 3. Temperature curves of composts 9...12(using fresh bark). The sludge-bark-ash ratios were 1:3:1 in compost 9, 2:5:1 in compost 10, 3:6:1 in compost 11 and -:3:1 in compost 12.



Kuva 4. Kompostien 9...12 pH.

Fig. 4. pH of composts 9...12.

ja se, että myös kompostissa 12, jossa ei käytetty lainkaan lietettä, tavattiin myös enterobakteereita. On tietysti mahdollista, että viemärilietteen bakteereita pääsi tähän lietteettömään kompostiin materiaalien sekoituksessa käytetyn kauhakuormaajan mukana, mutta suolistobakteerien säilyminen hengissä pelkkää kuorirouhetta ja tuhkaa sisältäneessä kuumassa massassa tuntuu epätodennäköiseltä.

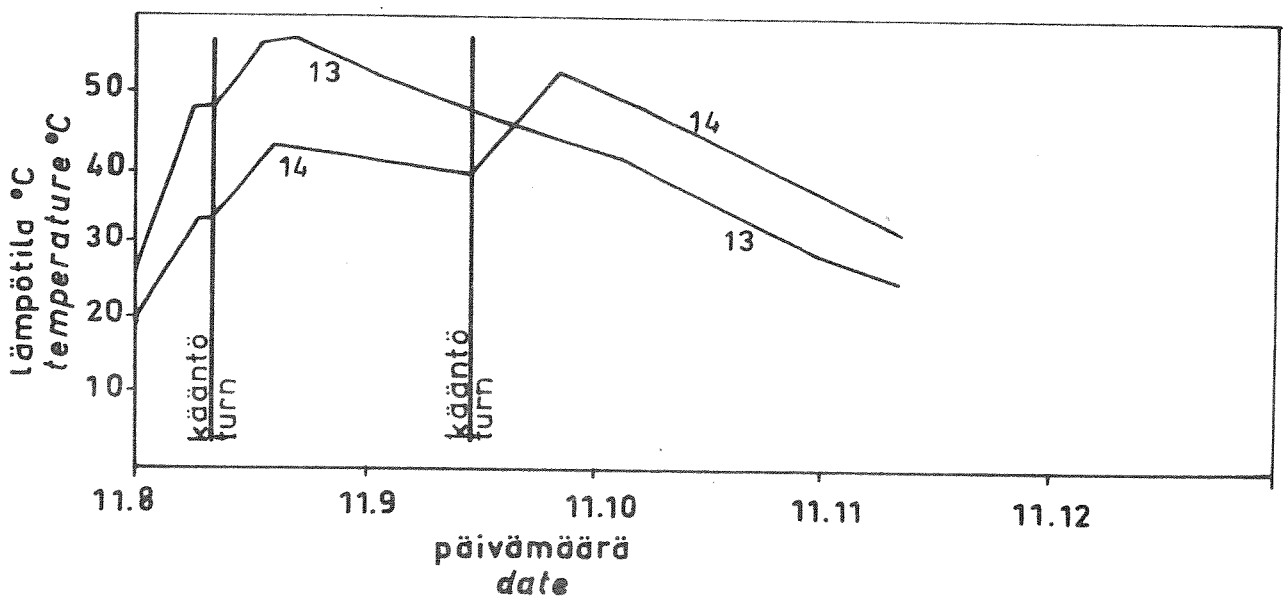
6.2.3 Seosaineen maatumisasteen vaikutus kompostoitumiseen

Seosaineen maatumisasteen havaittiin vaikuttavan kompostiin kehittyvään lämpötilaan siten, että tuoreella kuorirouheella perustetut kompostit saavuttivat korkeampia lämpötiloja ja jäähtyivät nopeammin kuin maatuneella kuorella perustetut kompostit (kuvat 1, 3 ja 5). Vertailtaessa kuvia 1 ja 3 havaitaan, että kompostoitumisaika (kasan lämpötila ulkoilman lämpötilaa korkeampi) oli tuoreella kuorella perustetuissa komposteissa noin kuukautta lyhyempi kuin maatuneella kuorella perustetuissa komposteissa. Sama ilmiö on todettavissa kuvassa 5, jossa on esitetty lämpötilakäyrät komposteista 13 ja 14 (liete-tuore kuori = 1 : 3 ja liete-maatunut kuori = 1 : 3). Tuoreella kuorella saadaan kompostiin korkeammat maksimilämpötilat ja nopeampi jäähtyminen.

Tuoreen kuoren paremmuus kompostiin kehittyvän lämpötilan suhteen johtunee siitä, että tuore rouhe sisältää maatuneeseen rouheeseen verrattuna runsaasti helposti hajoitettavaa puuainesta. Mahdollisesti on syynä myös kompostien parempi ilmastus - olihan tuore kuorirouhe kuivempaa ja kuohkeampaa kuin maatunut kuori. Hyvä ilmastus salli näissä komposteissa lietteen palamisen nopeasti, jolloin kompostit myös jäähtyivät nopeammin kuin maatunutta kuorta käytettäessä.

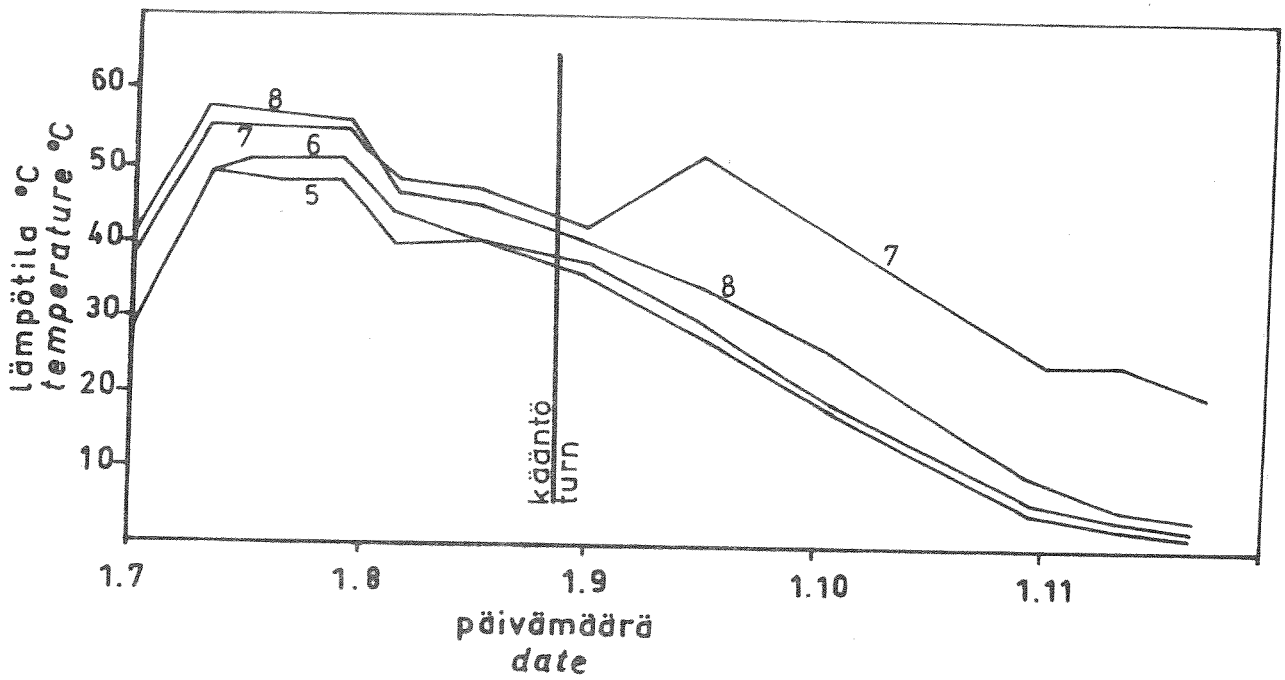
6.2.4 Ilmastuksen tarve ja vaikutus

Kääntelemällä ilmastettavista komposteista suoritettiin ilmastuksen tarpeen ja vaikutuksen selvittäminen vain tarkkailemalla kääntelyn vaikutusta kompostien lämpötilakäyriin. Kompostit 1...4 ilmastettiin ensimmäisen kerran 23.6.1976 eli perustamista seuraavana päivänä, jolloin kompostit olivat vielä kauttaaltaan kylmiä. Seuraavat



Kuva 5. Lämpötilakäyrät komposteissa 13 (liete-tuore kuorirouhe 1:3) ja 14 (liete-maatunut kuorirouhe 1:3).

Fig. 5. Temperature curves of composts 13 (sludge-fresh bark 1:3) and 14 (sludge-decayed bark 1:3).



Kuva 6. Lämpötilakäyrät komposteissa 5...8 (seosaineena maatunut kuorirouhe). Liete-kuorisuhde oli 1:1 kompostissa 5, 1:2 kompostissa 6, 1:3 kompostissa 7 ja 1:4 kompostissa 8.

Fig. 6. Temperature curves of composts 5...8 (using decayed bark). The sludge-bark ratio was 1:1 in compost 5, 1:2 in compost 6, 1:3 in compost 7 and 1:4 in compost 8.

käännöt suoritettiin harkinnan mukaan. Kompostit 1...4 reagoivat neljään ensimmäiseen kääntöön voimakkaalla lämmönnousulla, kahdella viimeisellä kääntökerralla ei havaittu olevan enää vaikutusta (kuva 1). Kääntelyn vaikutuksesta kohosi eniten lietettä sisältäneiden kompostien 1 ja 2 lämpötila samalle tasolle kuin komposteissa 3 ja 4.

Tuoreella kuorirouheella perustetut kompostit 9...12 lämpenivät heti alusta lähtien erittäin hyvin ja vaativat vähemmän kääntelyä kuin kompostit 1...4 (maatuneella kuorirouheella perustetut). Näissä komposteissa seosaineena käytetyn tuoreen kuorirouheen kuohkeus ja alhainen vesipitoisuus antoivat komposteille niin edullisen ilmatilan, että jo toisen käännön vaikutus jäi vähäiseksi (kuva 3).

Ilmastuskanavalla varustetut kompostit, joissa ilmastuskanavan päälle oli kasattu maapohjalla sekoitettu kompostimateriaali, lämpenivät alussa hyvin (kuva 6). Lämpötila pysyi näissä komposteissa korkeana noin kuukauden ajan, minkä jälkeen se laski pysyvästi alemmalle tasolle. Komposti 7, liete-kuorisuhteella 1 : 3, purettiin 31.8.1976 ja kasattiin tavallisen auman muotoon, jolloin sen lämpötila kohosi uudelleen ja pysyi jatkuvasti noin 15°C korkeampana kuin ilmastuskanavien päällä olleiden aumojen. Kompostit 5, 6 ja 8 purettiin seuraavana kesänä, jolloin myös niiden havaittiin lämpenevän uudelleen varastokasassa. Voitiin siis todeta, etteivät ilmastuskanavat toimineet odotetulla tavalla - komposteihin jäi stabiloitumatonta ainesta. Tärkeimpänä syynä stabiloitumattoman materiaalin säilymiseen komposteissa pidettiin aumojen painumista anaerobiin tilaan, mihin viittaa melko nopeasti tapahtunut lämpötilan lasku elokuun alussa. Lisäksi havaittiin, että näissä komposteissa oli säilynyt kuorirouheeseen sekoittumattomia suurehkoja lietekokkareita, jotka jäivät kompostoitumatta emäksisyytensä ja hapettomuutensa vuoksi.

6.2.5 Tuhkan ja kuitulietteen vaikutus kompostoitumiseen

Komposteissa 9...12 käytetyn lentotuhkan voitiin lämpötilakäyrien perusteella päätellä vaikuttaneen kompostoitumiseen aumojen maksimilämpötilaa kohottavasti. Tuoretta kuorirouhetta sisältäneiden aumojen nopea alkulämpeneminen ja korkeat lämpötilamaksimit johtuivat

ainakin osittain lentotuhkan vaikutuksesta, sillä lämpötilan kohoaminen oli erittäin nopeata myös kompostissa 12, joka sisälsi vain kuorirouhetta ja tuhkaa (kuva 3). Kuvia 3 ja 5 vertailemalla voidaan todeta, että erityisen nopea alkulämpeneminen ja korkea lämpötila saavutettiin vain niissä aumoissa, joissa oli käytetty lentotuhkaa (vertaa komposteja 9 ja 13). Tuhkan vaikutus kompostin lämpötilan edulliseen kehittymiseen selittyy sen kalsiumoksidin reagoinnilla veden kanssa, mikä on lämpöä vapauttava tapahtuma. Tuhka antoi komposteille erittäin nopean lämpötilan nousun 60...70°C:seen.

Kokeissa haluttiin erityisesti selvittää sitä, rajoittaako tuhka emäksisyydellään liete-kuoriseosten kompostoitumista. Näin ei kuitenkaan tapahtunut, vaan kompostien pH laski lähes neutraaliin hyvin pian hajoamistapahtuman alettua (kuva 4). Kuitenkin saattaa tuhkan käytöllä olla epäedullinen vaikutus komposteissa, sillä komposteissa 9...11 havaittiin typpihäviöiden olevan sitä suurempia, mitä enemmän kompostiin oli tuhkaa sijoitettu (taulukko 3). Toisaalta saattaa tuhkan käyttö edistää lietekompostien lämpöhygienisoitumista.

Koska tuhkan lämpöä vapauttava ominaisuus perustuu sen sisältämän kalsiumoksidin reagointiin ympäristön kosteuden kanssa, on tuhkalla kompostin lämpötilaa kohottava vaikutus vain silloin, kun sen kalsiumoksidipitoisuus on suuri (riippuu poltetun aineksen koostumuksesta) ja tuhka on tuoretta (kalsiumoksidi ei ole reagoinut ilman kosteuden kanssa).

Kuitulietteen todettiin heikentävän kompostoitumista. Kuitulietettä sisältäneiden kompostien alkulämpeneminen oli hidasta, eikä aumoissa saavutettu yli 40°C:n lämpötilaa koekauden aikana. Lisäksi kuituliete vaikeutti kompostien koossapysymistä. Voitiin päätellä, että kuitulietteen epäedullinen vaikutus kompostoitumiseen johtui sen käytön aiheuttamasta anaerobisuudesta. Kuituliete suurensi vähäravinteisena aineena myös kompostien hiili-typpisuhdetta.

6.2.6 Kompostien käsittelytekniikasta ja työmenekistä

Kompostien valmistuksessa ja käsittelyssä käytettiin kolmea erikokoista kauhakuormaajaa ja yhtä etukuormaajalla varustettua trakto-

ria. Työskentelyn nopeuden ja silmämääräisen havainnoinnin perusteella voitiin päätellä, että sujuva työskentely edellyttää työkoneen olevan nelivetoisen. Toisaalta koneen on oltava pienikokoinen pystyäkseen nopeaan toimintaan ahtailla kompostointipaikoilla. Parhaaksi osoittautui Kajaanin kokeissa pienin käytetty kauhakuormaaja, Volvo BM 640. Kokeillun traktorin huonona puolena oli, ettei se ollut nelivetoinen.

Kompostien valmistuksessa meni aikaa varastokasoissa olevien materiaalien maan pinnalle levittämisessä, sekoituksessa ja aumojen kasaamisessa 30...45 minuuttia yhtä kompostia kohden. Kääntämiseen meni aikaa 15...20 minuuttia/komposti. Kun maatuneella kuorirouheella perustetut kompostit 1...4 käännettiin koekauden aikana kuusi kertaa, vaativat ne konetyöskentelyä yhteensä 120...165 minuuttia yhtä kompostia kohden. Tuoreella kuorirouheella perustetut kompostit 9...12 vaativat pienemmän ilmastustarpeensa vuoksi konetyöskentelyä vain 60...85 minuuttia/auma. Kun Caterpillar 920:n, jolla useimmat käsittelyt suoritettiin, tuntitaksa kesällä 1976 oli 60 mk, tuli käsittelykustannuksiksi maatuneella kuorirouheella perustetuissa komposteissa 120...165 mk/komposti, tuoreella kuorirouheella perustetuissa 60...85 mk/komposti.

Kun kompostointikustannuksia laskettiin lopputuotteena saatavan kompostihumuksen määrän perusteella, saatiin käsittelykustannuksiksi kompostoitumisessa tapahtuva tilavuustappio huomioon ottaen lietemaatunut kuoriseoksille 4...7 mk kuutiometriä kohden, liete-tuore kuoriseoksille 2...3,5 mk/m^3. Laskettaessa kustannuksia kompostoinnin avulla hyödynnettävän lietemäärän perusteella, vaikuttaa kustannuksiin vielä kompostissa käytetty seossuhde. Kun seosaineen aiheuttamia kustannuksia ei oteta huomioon, saadaan lietteen kompostointikustannuksiksi maatuneen kuorirouheen kanssa seossuhteella 1 : 1 6...8,3 mk/m^3 lietettä, seossuhteella 1 : 2 9,2...12,7 mk/m^3, seossuhteella 1 : 3 12...16,5 mk/m^3 ja seossuhteella 1 : 4 15...20,7 mk/m^3 lietettä. Tuoreen kuorirouheen avulla lietettä kompostoitaessa olivat vastaavat kustannukset kompostissa 11 (liete-kuorisuhde 1 : 2) 5...7,1 mk/m^3 lietettä, kompostissa 10 (liete-kuorisuhde 1 : 2,5) 6...8,5 mk/m^3 lietettä ja kompostissa 9 (liete-kuorisuhde 1 : 3) 7,5...10,6 mk lietekuutiometriä kohden.

Edellä esitetyt laskelmat osoittavat, että lietteen kompostointi on edullisempaa tuoretta kuorirouhetta seosaineena käyttämällä kuin maatuneella kuorirouheella. Kuitenkin on tilanne käytännössä usein päinvastainen, sillä tuoreella kuorella on muitakin käyttötarkoituksia, ja siitä joudutaan maksamaan. Esimerkkinä mainittakoon, että Kajaani Oy käyttää tuoretta kuorta nykyisin polttoaineena ja sen hinta ulkopuolisille on 15 mk/m^3 (kesällä 1976).

7. VILJELYKOKEET KOMPOSTIHUMUKSILLA

Kajaanissa suoritettiin kesällä 1977 viljelykokeita edellisenä kesänä perustettujen kompostien lannoitus- ja maanparannusarvon selvittämiseksi. Kokeissa pyrittiin saamaan kuva lietekompostien yleisistä kasvualustaominaisuuksista sekä siitä, miten kompostoinnissa käytetty seossuhde ja seosaineen maatumisaste vaikuttivat kompostien arvoon kasvualustana. Erityisesti haluttiin selvittää myös se, miten kompostointi vaikutti lietteen lannoitusarvoon. Lisäksi tutkittiin lisälannoituksen tarvetta. Suoritetuissa kokeissa pyrittiin selvittämään lietekompostien sopivuutta nurmikon kasvualustaksi, koekasvina oli Italian raiheinä. Viljelykokeita suoritettiin sekä kenttäkokeina että astiakokeina.

7.1 KOEJÄRJESTELY

Kenttäkokeissa oli koealueena Peuraniemen puhdistamon takapiha, joka on täytemaa-aluetta ja sellaisena hyvä eloperäisen lannoitteen tutkimiseen. Koejärjestelyssä pyrittiin siihen, että työvaiheet vastaisivat mahdollisimman tarkasti Kajaanin kaupungin toimesta tapahtuvaa nurmikon perustamista. Koemateriaalit sekoitettiin koealueen pintamaahan puutarhajyrsimellä. Alueelle kylvettiin Italian raiheinän siementä 24 g/m^2 29.6.1977. Ruohonleikkuu suoritettiin koekauden aikana kaksi kertaa: 8.8. ja 20.8. Koeruutujen koko oli 25 m^2 (5 m x 5 m).

Kenttäkokeiden koejäsenet on esitetty taulukossa 4. Kokeissa käytettyjen kompostien laatu taas selviää edellä esitetystä taulukosta 2. Kerranteiden lukumäärä oli kolme. Koejäsenten ja niiden kerranteiden sijoitus koekentälle suoritettiin täysin arpomalla.

Kompostoinnissa käytetyn liete-kuorisuhteen vaikutusta pyrittiin selvittämään koejäsenissä 1, 3, 4 ja 5. Samoissa koejäsenissä selvitettiin myös seosaineen maatumisasteen vaikutusta kompostin kasvualusta-arvoon. Koejäsenissä 1 ja 2 verrattiin kompostin käyttömäärän vaikutusta sillä kasvavan ruohon menestymiseen. Toisaalta pyrittiin koejäseniä 2 ja 6 keskenään vertailemalla saamaan kuva kompostoinnin vaikutuksesta lietteen lannoitusarvoon - koejäsen 2 sisälsi laskelmien mukaan levitysalaa kohti yhtä paljon kompostoitua lietettä kuin tuli tuoreena koejäsenelle 6. Verrannekoejäseninä olivat kokeissa mukana Kajaanin kaupungin puistonurmikoidensa perustamiseen käyttämä lannoitettu ja lannoittamaton multa (jäsenet 7 ja 8) sekä koealueen pintamaa lannoitettuna ja lannoittamattomana (jäsenet 9 ja 10). Koealueen pintamaan saama väkilannoitus sisälsi laskelmien mukaan typpeä, fosforia ja kaliumia yhtä paljon kuin tuli lietteessä koejäsenelle 6 - tällä pyrittiin selvittämään lietteen ravinteiden vapautumisnopeutta.

Taulukko 4. Kenttäkokeiden koejäsenet.

Jäsen n:o	Käytetty kasvualusta	Kasvualustan määrä m^3/ha	Lisälannoitus
1	Komposti 1	1 000	-
2	"	500	-
3	Komposti 3	1 000	-
4	Komposti 9	1 000	-
5	Komposti 11	1 000	-
6	Liete	250	Seoslannoite
7	Multa	1 000	-
8	"	1 000	Puutarhan Y 2 700 kg/ha Dolom. kalkki 4 000 kg/ha
9	-	-	Urea 1 576 kg/ha, Kalisuola 36 kg/ha, Superfosf. 5 036 kg/ha
10	-	-	-

Taulukkoon 5 on kerätty analyysituloksia kenttäkokeissa käytetyistä kasvualustoista. Tulosten mukaan oli liete näistä ravinnepitoisuudeltaan ehdottomasti paras. Käytettyjen kompostien ravinnepitoisuudet taas ovat sitä suurempia mitä enemmän kompostiin oli sijoitettu lietettä. Kokeissa käytetty multa oli maatumisasteeltaan (C/N) kompostihumuksia parempi.

Kenttäkokeissa nurmikkoheinän kasvua arvioitiin silmämääräisesti neljä kertaa kesän 1977 aikana. Jokaisella kerralla arvostelun suoritti vähintään kolme asiantuntevaa henkilöä. Saaduista tuloksista laskettiin Tukeyn menetelmällä merkitsevyysero arvostelupisteiden keskiarvoille 5 % riskillä (Mattila 1975, Steel ja Torrie 1969).

Astiakokeet suoritettiin Peuraniemen puhdistamon kojehuoneessa käyttäen 1,1 litran vetoisia muoviruukkuja. Ruukut täytettiin tutkittavalla kasvualustalla ja koejäsenille annettiin tarvittava lisälannoitus, minkä jälkeen astioihin kylvettiin Italian raiheinän siementä 0,5 g/astia. Kylvöpäivä oli 12.7.1977. Ruukkuja kasteltiin säännöllisesti koekauden aikana. Ruukuista leikattiin heinäsato punnitusta varten neljä kertaa: 25.7., 2.8., 11.8. ja 22.8.

Taulukko 5. Analyysituloksia kenttäkokeissa käytetyistä kasvualustoista.

Materiaali	pH	Kuiva-aine %	Tuhka %	N	C	P	K	C/N
Komposti 1	7,8	34,0	60,0	0,74	29,0	3,8	1,3	39,2
" 3	7,7	40,2	63,5	0,54	27,5	3,1	1,5	50,9
" 9	7,7	41,5	68,3	0,40	28,8	2,8	3,1	72,1
" 11	7,6	37,9	63,6	0,60	32,3	4,2	2,4	53,9
Multa	6,1	50,4	74,2	0,56	19,0	0,5	1,3	33,9
Liete	11,0	18,4	69,1	1,63	20,6	8,8	0,4	12,6
Koealueen pintamaa	6,6	87,4	97,0	0,12	0,9	0,5	1,7	7,5

Astiakokeissa mukana olleet koejäsenet on esitetty taulukossa 6. Kasvualustana käytettyjen kompostien laatu taas selviää taulukosta 2. Kaikista koejäsenistä oli neljä kerrannetta.

Koejäsenissä 1...8 tutkittiin kompostin lisälannoituksen tarvetta. Kompostoinnissa käytetyn liete-kuorisuhteen ja seosaineen maatumisasteen vaikutusta selvitettiin koejäsenissä 1, 9, 10 ja 11. Verrannekoejäseninä olivat lannoitettu ja lannoittamaton multa (jäsenet 12 ja 13) sekä hiekka. Lisälannoitteina annettujen yksittäisravinteiden käyttömäärät valittiin siten, että fosforia ja kaliumia tuli koejäsenille 2...8 yhtä paljon kuin koejäsenelle 13 annettiin seoslannoitteessa, typen määrä oli seoslannoitteessa annettua kaksi kertaa suurempi.

Taulukko 6. Astiakokeiden koejäsenet.

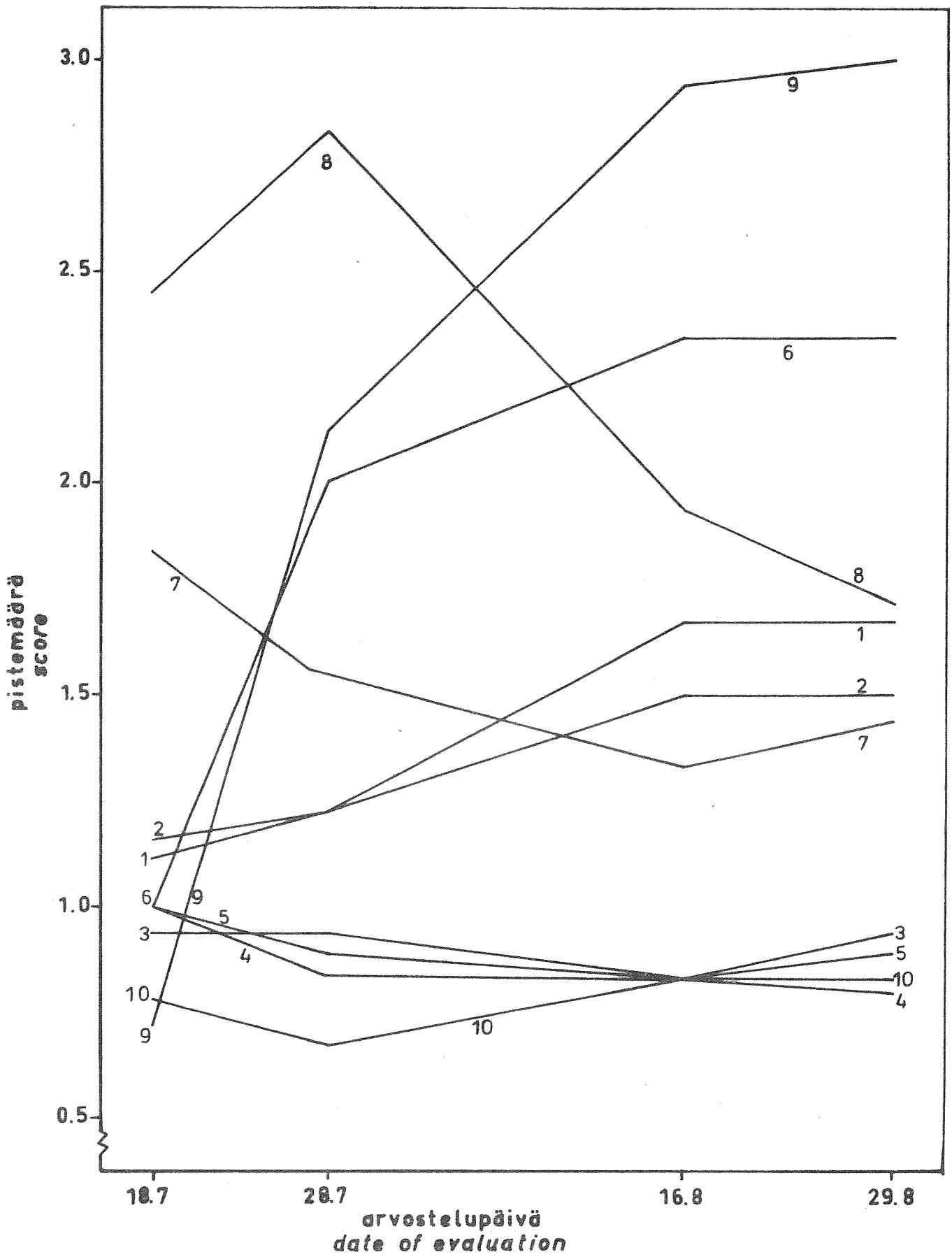
Jäsen n:o	Kasvualusta	Lisälannoitus
1	Komposti	-
2	"	Typpeä ureana 80 kg/ha määrän mukaisesti
3	"	Fosforia superfosfaattina 50 kg/ha
4	"	Kaliumia kalisuolana 120 kg/ha
5	"	NP edellisten määrien mukaisesti
6	"	NK "
7	"	PK "
8	"	NPK "
9	Komposti 3	-
10	Komposti 9	-
11	Komposti 11	-
12	Multa	
13	Multa	Puutarhan Y2 700 kg/ha, dolom. kalkki 4 t/ha
14	Hiekka	-

Astiakokeissa olleista koejäsenistä seurattiin tuoresadon kehittymistä. Neljällä leikkuukerralla saatujen yhteissatojen keskiarvojen luotettavuuden selvittämiseksi laskettiin kaikille koejäsenelle 5 %:n riskillä merkitsevä satoero Tukeyn menetelmällä.

7.2 VILJELYKOKEIDEN TULOKSET

7.2.1 Liete-kuorisuhteen vaikutus kompostin kasvualusta-arvoon

Kenttäkokeiden tulokset on esitetty kuvassa 7, jossa eri koejäsenten saamat arvostelupisteet on esitetty ajan funktiona. Tuloksista voidaan havaita, että mitä suurempi oli lietteen osuus kompostissa, sitä parempi oli kompostihumuksen kasvualusta-arvo. Tämä on erityisen selvästi havaittavissa verrattaessa keskenään koejäseniä 1 (kompostissa liete-kuorisuhde 1 : 1) ja 3 (kompostissa liete-kuorisuhde 1 : 3). Ero kasvoi nurmikon kasvun edistyessä ja oli tilastollisesti merkitsevä kahdella viimeisellä arvostelukerralla. Voitiin päätellä, että enemmän lietettä sisältäneen kompostin paremmuus kasvualustana johtui lannoitusvaikutuksesta, sillä koekesän runsassateisuuden vuoksi ei eroja humustumisasteessa (vedenpidätyskyky) kyetty havaitsemaan. Tämä on ymmärrettävää myös kompostien ravinnepitoisuuksien perusteella (taulukko 5).



Kuva 7. Kenttäkokeiden tulokset. Merkitsevyysero arvostelupisteiden keskiarvoille: 18.7. = 0,56, 28.7. = 0,49, 16.8. = 0,36 ja 29.8. = 0,29.

Fig. 7. Results of field experiments. The level of significance for average scores: 18.7.=0.56, 28.7.=0.49, 16.8.=0.36 and 29.8.=0.29.

Samanlainen tulos kenttäkokeiden kanssa liete-kuorisuhteen vaikutuksesta saatiin astiakokeissa, joissa arvosteluperusteena oli astioista leikattu heinäsato (kuva 8). Minkäänlaista myrkkyvaikutusta ei suurilla lietemäärillä kompostissa havaittu olevan heinän kasvuun.

7.2.2 Seosaineen maatumisasteen vaikutus kompostin kasvualustaarvoon

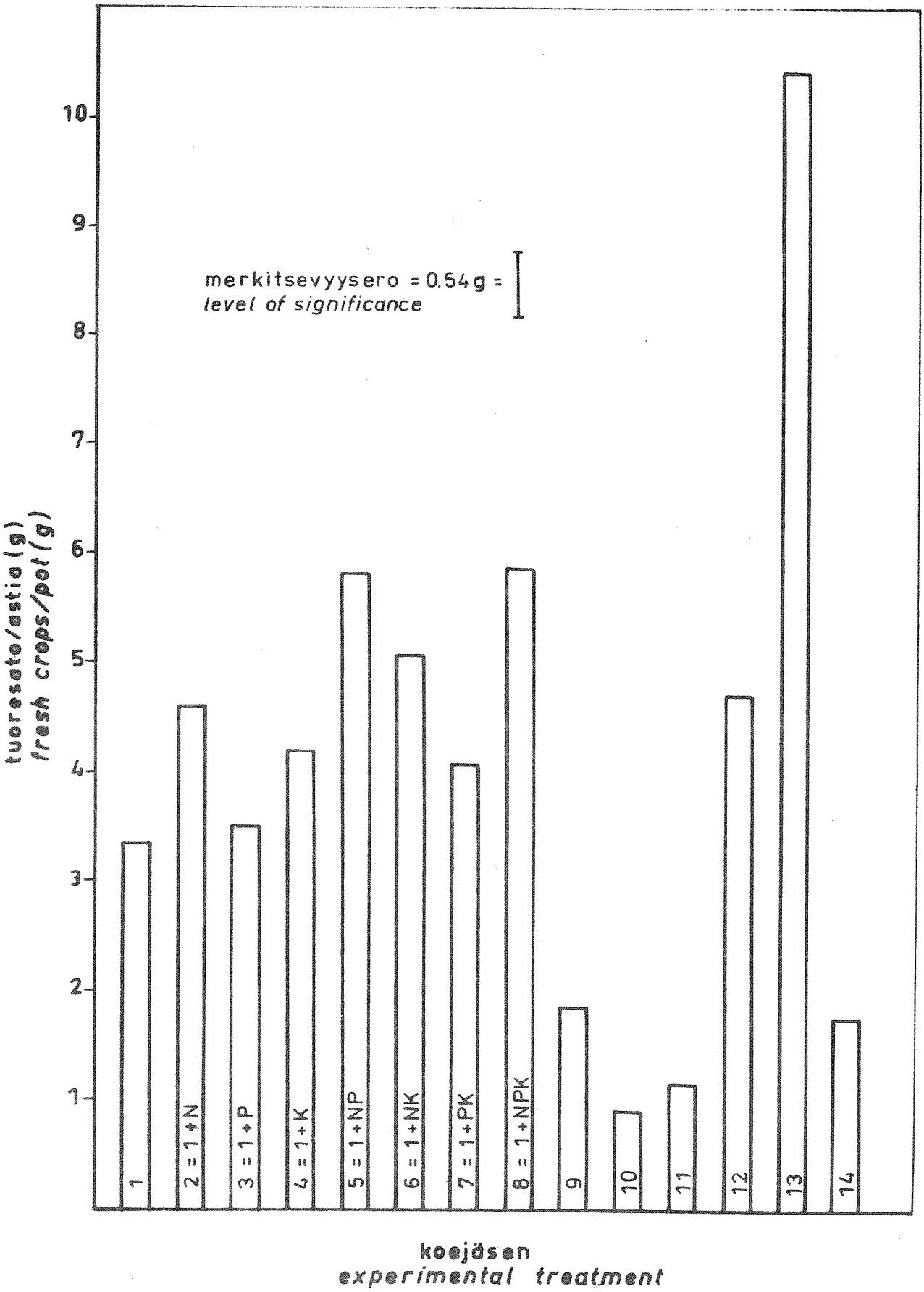
Kuvasta 7 voidaan päätellä, että maatunutta kuorirouhetta sisältäneet kompostit olivat nurmikon kasvualustana parempia kuin tuoretta kuorta sisältäneet. Tämän osoittaa se, että koejäsen 3 (kompostissa vanha kuori-liete 3 : 1) oli kasvualustana suunnilleen samanveroista kuin enemmän lietettä sisältänyt tuoreella kuorella perustettu komposti (koejäsen 5).

Astiakokeissa (kuva 8) saatiin seosaineen maatumisasteen vaikutukselle tilastollinen merkitsevyys vertailtaessa koejäseniä 9 ja 10, joissa oli sama liete-kuorisuhde, mutta seosaineena maatumisasteeltaan erilainen puunkuori.

Seosaineen maatumisasteen vaikutuksen pääteltiin johtuvan siitä, että tuore kuori immobilisoi lietteessä annetut ravinteet pidemmäksi aikaa kuin maatunut kuori (vertaa C/N-suhdetta taulukossa 5). Toisaalta voitiin astiakokeiden tulosten perusteella todeta, että ero saattoi osittain johtua myös kompostien erilaisista fysikaalisista ominaisuuksista. Tuoretta kuorta sisältäneillä komposteilla havaittiin koekauden aikana runsaasti itämättömiä siemeniä, minkä pääteltiin johtuvan näiden kompostien liiallisesta kuohkeudesta (siemenillä huono kontakti kasvualustaan, kasteluveden nopea haihtuminen).

7.2.3 Kompostoinnin vaikutus lietteen lannoitusarvoon

Kenttäkokeissa havaittiin, että kompostointi heikensi viemärilietteen lannoitusarvoa erittäin huomattavasti (kuva 7). Verrannollisia ovat kuvassa koejäsenet 2 ja 6.



Kuva 8. Astiakokeiden tulokset (neljän leikkuukerran sadot yhteenlaskettu). Keskiarvojen merkitsevyysero esitetty janana kuvassa.

Fig. 8. Results of pot experiments (as a sum of crops from four harvestings). The level of significance of the average values is presented as a line in the picture.

Kompostoinnin lietteen lannoitusarvoa heikentävä vaikutus johtunee ensisijaisesti ravinteiden joutumisesta vaikeammin hajoitettaviin yhdisteisiin. Toisaalta on tässäkin tutkimuksessa jo selvinnyt, että typpihäviöt saattavat lietteen kompostoinnissa olla erittäin suuria. Kun vielä otetaan huomioon, että se massatilavuus, josta kasvi ottaa ravinteensa, on kompostoinnissa seosaineen lisäyksen takia vähintäänkin kaksinkertaistunut ravinteiden määrän kuitenkaan oleellisesti nousematta, on kompostoinnin epäedullinen vaikutus lietteen lannoitusarvoon ymmärrettävissä.

Saatu tulos oli osaksi yllättävä. Etukäteen nimittäin pelättiin, että liete suuren suolaväkevyytensä, emäksisyytensä ja nopean hajoamisensa (kasvualustan happivaje) vuoksi saattaisi kokonaan estää nurmikon kasvun. Tällaista myrkkyvaikutusta ei lieteruuduissa kuitenkaan havaittu kuin aivan paikallisesti. Ravinteiden vapautumisen lietteestä todettiin olevan erittäin nopeaa (vertaa koejäsenet 6 ja 9, liete ja väkilannoitus kuvassa 7).

7.2.4 Lietekomposti verrattuna multaan

Kenttäkokeiden tulosten perusteella olivat multaa sisältävät kasvualustat kokeiden alkuvaiheissa kompostihumuksia parempia, mutta nurmikon kasvun edistyessä niiden arvo laski komposteihin verrattuna niin, että paras komposti oli lopussa lähes samanarvoinen kuin lannoitettu ja kalkittu multa (kuva 7). Lannoittamattoman mullan paremmuus komposteihin verrattuna kokeiden alkuvaiheissa johtui ilmeisesti sen komposteja paremmasta stabiilisuudesta (suurempi osa ravinteista epäorgaanisessa muodossa). Toinen mahdollisuus on, että multa antoi itäville siemenille komposteja tiiviimmän ja kosteamman kasvualustan, mikä sitten heijastui heinän nopeana itämisenä.

Astiakokeiden tulosten mukaan vastasi lannoittamaton multa neljän ruohonleikkuukerran yhteissatojen perusteella N-, K- tai NK-lisälannoitettua kompostia (kuva 8). Kuitenkin oli astiakokeissakin havaittavissa, että mullan paremmuus johtui sen edullisesta vaikutuksesta nimenomaan nurmiheinän kasvun alkuvaiheissa. Viimeiset lannoittamattomalta mullalta leikatut sadot olivat jopa pienempiä kuin lannoittamattomalta kompostihumukselta saadut sadot.

Väkilannoitettujen kasvualustojen osalta ovat kuvassa 8 verrannollisia koejäsenet 8 ja 13, joille annetut fosfori- ja kaliummäärät olivat yhtä suuret, typpeä oli kompostihumukselle annettu kaksi kertaa enemmän kuin mullalle tuli seoslannoitteessa. Tuloksista havaitaan, että heinä pystyi hyödyntämään lisälannoituksena annetut ravinteet paljon tehokkaammin mullasta kuin kompostista. Väkilannoitteen ravinteita lienee kompostihumuksessa vielä kulunut hajoittajapieneliöstön solunrakennusaineiksi, minkä mukaan kompostien stabiloituminen on ollut vain näennäistä ja johtunut ravinteiden niukkuudesta.

7.2.5 Lisälannoituksen vaikutus

Kuvasta 8 voidaan todeta, että yksittäin annetuista ravinteista oli kompostilla kasvavan nurmiheinän satoon tilastollisesti merkitsevä vaikutus typellä ja kaliumilla. Lannoiteyhdistelmien satotuloksista taas nähdään, että typen ohella annettuna oli fosforilla suurempi merkitys kuin kaliumilla. Fosforin vaikutus oli tällöin niin suuri, että kombinaatiolla NP saatiin yhtä suuri sato kuin yhdistelmällä NPK. Kuitenkaan ei fosforilla ollut satoa parantavaa vaikutusta, kun se annettiin pelkän kaliumin ohella.

Tulosten perusteella voidaan päätellä, että typen puute on se tekijä, joka eniten rajoittaa kasvien kasvua lietekompostihumuksella. Heikosti stabiloituneet kompostit eivät juuri pysty mobilisoimaan typpeä kasvien käyttöön. Typen puute oli komposteilla niin suuri, ettei yksittäin annettua fosforia ole kyetty lainkaan hyödyntämään - fosforia oli tällä typen puutteen määräämällä satotasolla komposteissa riittävästi.

Kalium-lisälannoituksen vaikutuksessa heijastuu lietteen vähäinen kaliumpitoisuus; sato on kasvanut merkitsevästi ilman typpilannoitustakin. Se, että kaliumin vaikutus oli typen ohella annettuna pienempi kuin fosforilla ja vaikutus kombinaatiossa NPK lähes merkityksetön, saattaa johtua typpilannoituksen aikaansaamasta mikrobitoiminnan olennaisesta vilkastumisesta kasvualustassa. Puunkuoren kalium olisi tällöin mobilisoitunut kasvien käyttöön.

Kompostihumuksen lannoitusta käytännössä suunniteltaessa on syytä huomata, että typen ja kaliumin merkityksen ohella myös NP-yhteisvaikutus oli merkitsevä.

7.2.6 Kompostin käyttömäärän vaikutus

Kuvasta 7 voidaan päätellä, ettei ollut suurtakaan merkitystä sillä, käytettiinkö kompostia kasvualustana 10 cm:n vai 5 cm:n kerros. Joskin pientä eroa suuremman käyttömäärän hyväksi on, ei ero kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä. On luultavaa, että yksi kasvukausi on liian lyhyt aika kompostin käyttömäärän vaikutuksen selvittämiseksi. Pidemmällä tarkasteluajalla tullevat suuremman käyttömäärän edut ilmi kestävänä lannoitusvaikutuksena ja maan fysikaalisten ominaisuuksien parantumisena (esim. poudanarkuuden väheneminen).

8. TULOSTEN TARKASTELUA

Kompostointikokeiden tuloksissa kiinnitettiin huomiota hajoamistapahtuman aikana tapahtuneisiin erittäin suuriin typpihäviöihin. Liete-kuoriseoksen typpipitoisuuden pieneneminen kompostoinnin aikana oli suurimmillaan jopa 48 % alkuperäisestä typpipitoisuudesta. Syinä tähän kompostin lannoitusarvoon haitallisesti vaikuttavaan tapahtumaan pidettiin lietteen ja lentotuhkan emäksisyyttä sekä kompostien osittaista anaerobisuutta. Lisäksi pääteltiin kuorirouheen ravinteidenpidättämiskyvyn olevan melko huono. Jos typpihäviöt johtuivat käytetyn tuhkan emäksisyydestä tai kompostien anaerobiasta, voidaan edulliseen tulokseen päästä luopumalla tuhkan käytöstä ja ilmastamalla aumoja tehokkaammin. Mutta mitä tehdä, jos typpihäviöt aiheutuvat itse kompostoitavan aineen emäksisyydestä tai seosaineen huonosta ravinteidenpidätyskyvystä? Luopuako kokonaan lietteen kompostoinnista vai kannattaisiko yrittää parantaa tulosta seosainetta vaihtamalla? Kolmas - ja käytännössä luultavasti edullisin keino - on käyttää komposteissa lisäaineena hajoamistapahtumassa vapautuvia ravinteita tehokkaasti pidättävää materiaalia. Acharya ym. (1945) pystyivät kompostointikokeissaan oleellisesti vähentämään kasvijäte-lantakompostin typpihäviöitä käyttämällä lisäaineena savespitoista maata. Ilman maalisäystä menetti kasvijäte-lantaseos kompostoinnin aikana melkein 23 % typestään, kun taas maalisäys esti typpihäviön kokonaan - jopa typen määrän lisäystä oli todettavissa. Typpihäviön estymisen savespitoista maata lisäaineena käytettäessä selittivät tutkijat johtuvan maan kolloidihiukkasten suuresta ravinteidenpidätyskyvystä ja toisaalta maalisäyksen mukana kompostiin tulleen maamik-

robiston kyvystä immobilisoida vapautuva ammoniakki nopeasti estäen täten sen haihtumisen. Typen absoluuttisen määrän lisääntymisen taas katsottiin johtuvan ilmakehän typen mikrobiologisen sidonnan tehostumisesta maalisäyksen yhteydessä. Ratkaisuna typpihäviöiden estämiseksi saattaisi siis olla kolloidikokoisen materiaalin käyttäminen lisäaineena kuori-lietekomposteissa. Savespitoisen maan ohella lienevät maatunut turve ja multa kokeilemisen arvoisia.

Tässä tutkimuksessa oli viemärilietteen kompostointikokeiden tavoitteena lähinnä lietekompostin lannoitus- ja maanparannusarvon saaminen mahdollisimman suureksi. Tämän vuoksi ei tutkimuksessa ehkä kiinnitetty riittävästi huomiota lietteen hygieenisten vaaratekijöiden poistamiseen. Mikrobiologisia kokeita suoritettiin niin vähän, ettei niiden perusteella voi päätellä mitään varmaa suolistobakteerien lukumääristä. Kuitenkin saatiin tulokseksi, että kompostit sisälsivät suolistoperäisiä organismeja vielä kolmen kompostoitumiskuukauden jälkeen. Tulos ei ole mitenkään yllättävä, jos sitä verrataan esimerkiksi Krogstadin ym. (1975) saamiin tuloksiin viemärilietteen kompostoinnissa. Escherichia coli-bakteeri oli tutkijoiden mukaan säilynyt kompostissa kolmen kuukauden ajan, vaikka kompostin lämpötila oli korkeimmillaan ollut jopa 70°C. Suolistobakteerien lukumäärä oli kompostoinnissa kuitenkin pienentynyt huomattavasti.

Suolistobakteerien säilyminen liete-kuorirouhekompostissa on mahdollista lähinnä kasan pintaosissa. Chang Yung ja Hudson (1967) ovatkin todenneet kompostin pintaosan olevan usein mesofiilisellä tasolla. Toinen mielenkiintoinen mahdollisuus tuloksen selitykseksi on, että Escherichia coli-bakteerina on kasvualustalla reagoinut ei-fekaalinen puunjalostusteollisuuden rikastama E. coli:n tapaan kasvava bakteeri, mistä mahdollisuudesta ovat Sundman ja Huhta (1977) raportoineet omissa tutkimuksissaan. Tämä mahdollisuus tuntuukin hyvin todennäköiseltä Kajaanissa saatujen tulosten selityksenä, koska bakteeria tavattiin myös lietteettömässä kompostiaumassa.

Kompostoinnissa käytetyn liete-kuorisuhteen vaikutuksesta voitiin todeta, että maatuneella kuorirouheella perustetuissa komposteissa ei lietteen osuuden suuruudella juuri ollut vaikutusta aumojen lämpötilaan. Tuoreella kuorella perustetuissa komposteissa taas lietteen kasvava osuus pidensi kompostoitumisaikaa. Selityksenä ilmiölle pidet-

tiin sitä, että maatuneella kuorella perustetuissa komposteissa ei lisääntyvää lietemäärää kyetty tehokkaasti hajoittamaan ilmastuksen heikkenemisen takia. Tuoreen kuoren kuohkeus taas antoi kompostille niin edullisen ilmatilan, että lisääntyvä lietemäärä aiheutti tehostuneen lämmöntuotannon. Korkea lämpötila tuoretta rouhetta sisältäneissä komposteissa viittaa maatunutta kuorta sisältäneitä aumoja parempaan lämpöhygienisoitumiseen.

Lentotuhkan vaikutus liete-kuoriseosten kompostoitumiseen oli yllättävä. Tuhka ei estänyt hajoitustoimintaa emäksisyydellään kuten etukäteen pelättiin vaan päinvastoin näytti parantavan kompostien alkulämpenemistä. Tämä tuoreen tuhkan kemialliseen energiaan perustuva vaikutus saattaisi tarjota yhden vaihtoehdon talviaikana perustettavien kompostien toimintaan saattamiselle.

Kokeet kuitulietteen käyttämisestä liete-kuorikompostien lisäaineena osoittivat sen heikentävän kompostoitumista. Kuitulietteen epäedullinen vaikutus johtuu siitä, että se huonontaa kompostien vaikutusta tiiviydellään ja suurella vesipitoisuudellaan. Koska niukkaravinteinen kuituliete oletettavasti rajoittaa toisen tiiviin ja märän aineen, viemärilietteen, käyttömäärää kompostissa, alentaa sen käyttö kompostin ravinnepitoisuutta. Kuituliete saattaa hajoitustoimintaa huonontaessaan alentaa lietekompostien lämpöhygienisoitumisastetta. Näiden seikkojen vuoksi ei kuitulietteen käyttö ainakaan Peuraniemen lietteellä perustettavissa komposteissa ole suositeltavaa.

Kompostien ilmastaminen on tulosten perusteella parasta suorittaa aumoja kääntelemällä. Kanavan avulla ilmastetut kompostit painuivat anaerobiin tilaan, mistä seurasi hajoitustoiminnan heikkeneminen. Tämän vuoksi kompostiin jäi stabiloitumatonta ainesta, mikä todennäköisesti on huonontanut kompostien lämpöhygienisoitumista. Kompostin ilmastamista kääntelemällä puolustaa myös se seikka, että kääntelyn vaikutuksesta kaikki kompostin osaset joutuvat sisäosien korkeaan lämpötilaan. Viemärilietteen kompostoinnissa pitävät Golueke ja Gotaas (1954) kompostikasojen kääntelyä välttämättömänä lietteen hygienisoitumiseksi.

Viljelykokeet osoittivat, että lietekompostilla voidaan Kajaanissa hyvin korvata puistonurmikoiden perustamiseen käytettävä multa. Kom-

postihumus oli heinän kasvun alkuvaiheissa hieman multaa heikompi kasvualusta, mutta kasvun edistyttyä ei nurmikon tasaisuudessa ja peittävyydessä ollut eroa. Lisälannoitusta ei kompostihumuksella kasvava heinä kuitenkaan pystynyt hyödyntämään yhtä hyvin kuin mullalla kasvava.

Kaikki viljelykokeissa käytetyt kompostit eivät kuitenkaan olleet kasvualustana mullan veroisia. Kompostin lannoitus- ja maanparannusarvo näytti riippuvan kompostoinnissa käytetystä liete-kuorisuhteesta ja seosaineen maatumisasteesta. Paras tulos saavutettiin kompostilla, jossa lietteen suhteellinen määrä oli suurin ja seosaineena maatunut kuorirouhe. Kompostoinnissa käytetyn lietteen suurella määrällä ei viljelykokeissa havaittu olevan minkäänlaista myrkkyvaikutusta kasveihin toisin kuin Valtion polttoainekeskuksen suorittamissa kokeissa, joissa kompostissa käytetyn suuren lietemäärän havaittiin vaikeuttavan heinän itämistä (Anon 1976a). Ero johtui ilmeisesti kompostien stabiloitumisasteessa olleista eroista; Valtion polttoainekeskuksen viljelykokeissa oli käytetty samana kesänä kompostoituja seoksia.

Seosaineena on lietteen kompostoinnissa edullisempaa käyttää maatunutta kuin tuoretta kuorirouhetta. Tämä viljelykokeiden tulos selittyy sillä, että maatuneella kuorella perustetut kompostit olivat tuoreella kuorella perustettuja paremmin stabiloituneita ja kykenivät mobilisoimaan enemmän ravinteita kasvien käyttöön.

Kompostoinnin aikana tapahtuneet ravinnehäviöt heijastuivat voimakkaasti kompostin lannoitusarvoon. Kenttäkokeiden tulosten mukaan oli liete menettänyt kompostoinnissa huomattavasti lannoitusarvoaan. Yllättävää oli tuoreen lietteen hyvä arvo heinän kasvualustana - myrkkyvaikutusta kasveihin oli todettavissa vain aivan paikoittain lieteruuduilla.

Merkitsevää vaikutusta ei todettu olevan sillä, käytettiinkö kompostia heinän kasvualustana 5 cm:n vai 10 cm:n kerros. Sen sijaan ainakin tuoreella kuorella perustettujen kompostien heikkoutena on astiakokeiden perusteella liiallinen kuohkeus, mikä saattaa heikentää heinän itämistä. Kompostin sekoittaminen kivennäismaahan on tämän vuoksi suositeltavaa.

Lisälannoituksen vaikutuksesta saatiin tuloksia, jotka ovat yhteneviä Kickin ym. (1959) kuivajäte- ja kuivajäte-viemärilietekomposteista saamien tulosten kanssa. Suurin sato saatiin lannoitekombinaatiolla NP. Kaliumilla ei typen ja fosforin ohella annettuna ollut vaikutusta. Yksittäin annettuna taas olivat typpi ja kalium vaikutukseltaan merkitseviä, fosforilla ei tällöin ollut vaikutusta. Kun komposteja käytetään nurmikon kasvualustana, on syytä käyttää myös väkilannoitusta. Kasvinravinteina voi tällöin antaa ainakin typpeä ja sen ohella fosforia. Kalkitusta ei tarvita ainakaan silloin, kun kasvualustana käytetyssä kompostissa on käytetty kalkkistabiloitua lietettä tai kalkkipitoista tuhkaa.

9. Y H T E E N V E T O

Kajaanissa suoritettiin vuosina 1976 ja 1977 Kainuun vesipiirin toimesta viemärilietteen kompostointitutkimus, jossa pyrittiin selvittämään liete-kuorirouheseosten kompostoitumista ja kompostoidun seoksen lannoitus- ja maanparannusarvoa. Kompostointikokeissa tutkittiin liete-kuorisuhteen vaikutusta, seosaineen maatumisasteen vaikutusta, ilmastustavan vaikutusta sekä sitä, mikä vaikutus on komposteissa lisäaineina käytettävillä lentotuhkalla ja kuitulietteellä. Kompostointikokeet suoritettiin käytännön mittakaavassa; aumojen koko oli noin 40 m^3. Kompostointia kokeiltiin liete-kuoritilavuussuhteilla, jotka vaihtelivat välillä 1:1...1:4. Lisämateriaalina käytetyn tuhkan osuus oli 10...20 %, kuitulietettä käytettiin 25 % kompostin tilavuudesta. Seosaineena komposteissa käytettiin tuoretta ja jo osittain maatunutta kuorirouhetta. Ilmastaminen suoritetttiin joko kääntelyn avulla tai kompostin alle asetetulla ilmastuskanavalla. Kompostihumuksen lannoitus- ja maanparannusarvon selvittämiseksi suoritettiin viljelykokeita, joissa vertailtiin keskenään eri tavoin perustettuja komposteja nurmikon kasvualustana. Tutkittiin myös kompostin käyttömäärän vaikutusta, lisälannoituksen tarvetta sekä sitä, mikä vaikutus kompostoinnilla on lietteen lannoitusarvoon. Komposteja verrattiin nurmikon kasvualustana multaan, viemärilietteeseen ja vähähumuksiseen kivennäismaahan. Koekasvina oli Italian raiheinä, jolla viljelykokeita suoritettiin sekä kenttä- että astiakokeina. Lisälannoituksena komposteille annettiin typpeä, fosforia ja kaliumia.

Viemärilietteen kompostoinnissa on edullisempaa käyttää seosaineena maatunutta kuin tuoretta kuorirouhetta. Maatuneen kuoren paremmuus havaittiin viljelykokeissa. Sen sijaan kompostointikokeissa saatiin tuoretta kuorta käytettäessä komposteihin korkeampi lämpötila, mikä viittaa parempaan hygienisoitumisasteeseen. Kuitenkin on maatunut kuori käytännössä edullisempaa, koska se ei aiheuttane lietteen kompostoinnille niin paljon lisäkustannuksia kuin tuore kuori, jota käytetään Kajaanissa polttoaineena.

Paras liete-kuorisuhde maatunutta kuorirouhetta sisältäneissä komposteissa on maatumisasteen kannalta 1:3. Kuitenkin viljelykokeiden tulos oli, että mitä enemmän lietettä komposti sisälsi, sitä suurempi oli sen arvo nurmikon kasvualustana. Lietteen suurella käyttömäärällä kompostissa ei havaittu olevan minkäänlaista myrkkyvaiku-

tusta kompostihumuksella kasvaviin kasveihin.

Lentotuhkan käyttö komposteissa on pienillä määrillä suositeltavaa, koska se kohottaa kompostin ravinnepitoisuutta. Jos tuhka lisäksi on hyvin tuoretta, auttaa se kompostien alkulämpenemistä. Suuria tuhkamääriä on kompostoinnissa kuitenkin syytä välttää, koska ne saattavat aiheuttaa typpihäviötä.

Kuituliete ei tulosten mukaan ole sovelias lisämateriaali viemäriliete-kuorirouhekomposteissa. Sen käyttö heikentää kompostoitumista, vähäravinteisena aineena se myöskin laskee kompostin lannoitus- ja maanparannusarvoa.

Kompostien ilmastaminen on parasta suorittaa kääntelemällä. Ilmastuskanavan päällä olleet kompostit olivat huonosti stabiloituneita. Lisäksi voitiin kääntelemällä tapahtuvan ilmastamisen eduksi havaita alunperin heikosti sekoittuneiden materiaalien lisäsekoittuminen ilmastamisen aikana.

Viljelykokeiden perusteella ei merkitsevää vaikutusta havaittu olevan sillä käytettiinkö kompostia kasvualustana 5 cm:n vai 10 cm:n kerros. Sen sijaan voitiin havaita, että ainakin tuoreella kuorella perustettujen kompostien heikkoutena on liiallinen kuohkeus, mikä saattaa heikentää heinän itämistä. Kompostin sekoittaminen kivennäismaahan on tämän vuoksi suositeltavaa.

Viemärilietteen lannoitusarvo laskee kompostoitaessa huomattavasti. Tämä johtuu osaksi ravinteiden sitoutumisesta vaikeammin hajoitettaviin yhdisteisiin. Toisaaalta voitiin kuitenkin todeta, että typpihäviöt olivat kompostoitumisen aikana erittäin suuria. Näiden tekijöiden vaikutuksesta oli nurmikkoheinän kasvu kompostihumuksella huomattavasti heikompaa kuin viemäriliete-maaseoksessa.

Lisälannoituksena on kompostihumukselle syytä antaa ainakin typpeä ja sen ohella fosforia. Kaliumilla ei kokeissa havaittu olevan NP-lannoitusta parantavaa vaikutusta, mikä johtunee kuorirouheen kaliumin mobilisoitumisesta kasvien käyttöön. Kalkitusta ei Peuraniemen lietteellä perustettuja komposteja kasvualustaksi käytettäessä tarvita.

Puistonurmikoiden perustamiseen Kajaanissa käytettävä multa voidaan tutkimuksen tulosten perusteella hyvin korvata lietekompostihumuksella. Nurmikon tiheys ja tasaisuus olivat kompostihumuksella hyvät, lisälannoituksella saadaan myös kasvun voimakkuus paranemaan.

E N G L I S H S U M M A R Y

Composting experiments with sewage sludge and conifer bark were performed in Kajaani in 1976 and 1977. Composts with different sludge-bark ratios (1:1 - 1:4), different types of bark (fresh or partially decayed) and different kinds of aeration (air ducts or mechanical turning) were prepared. In addition, the influence of waste ash and fibre sludge (cellulose process waste) on the decomposition of sewage sludge-bark mixtures was studied. The nutritional value of composts was tested in field and pot experiments with rye grass. In these experiments, different composts were compared with each other and also with fresh sewage sludge, stable soil and fertilizers. The sewage sludge used was dried (18.4 % dry substance) and heavily stabilized with lime.

In field and pot experiments, it was found that composts with partially decayed bark had greater nutritional value than those with fresh bark. During the decomposition process, on the other hand, composts with fresh bark reached higher temperatures than those with partially decayed bark, which may denote a more hygienic state in these composts.

From the field and pot experiments, it was also found that the greater the sewage sludge-bark ratio in compost, the greater its nutritional value. There was no sign of toxic effect on plants even when compost with a sewage sludge-bark ratio of 1:1 was used. When the temperatures of composts were examined it was found that in composts with partially decayed bark the sludge-bark ratio had virtually no effect on decomposition rate except just at the beginning. In composts with fresh bark, on the other hand, increasing amounts of sewage sludge in the mixture made decompostion more effective and prolonged.

It is possible to increase the nutrient content of composts by using waste ash. In addition it was found that fresh ash mixed with sewage sludge and bark may help the decomposition process at the beginning by providing it with chemical energy (CaO). However, great quantities of ash may also lead to nitrogen losses by causing excessive alkalinity.

Waste fibre sludge has only harmful effects on the decomposition of sewage sludge-bark mixtures. The temperature in composts containing

in fibre sludge did not reach even 40°C, which makes their hygienic state doubtful. In addition, fibre sludge has virtually no nutritional value in composts.

It is more effecient to perform aeration of composts by turning during decomposition than with special air ducts located under them. Composts with air ducts were not stable even after 11 months.

According to the results of field and pot experiments there was no statistically significant difference whether compost was used as a layer of 5 cm or 10 cm. On the contrary, it was found that it is better to mix compost with inorganic matter in order to ensure germination of seeds.

The nutritional value of sewage sludge decreases rapidly during composting. This is due in part to the binding of nutrients into microbial cells and humus. On the other hand, it was found that great losses of nitrogen occurred from the mixture during composting. The result was that the growth of rye grass was much poorer on composts than on a mixture of fresh sewage sludge and soil.

When sewage sludge-bark composts are used in establishing lawns it is worthwhile to fertilize them with at least nitrogen and phosphorus. Potassium had no additional effect on NP fertilization. Liming is not necessary when composts made of lime-stabilized sewage sludge are used.

It was found in this research that the soil used in establishing lawns in Kajaani can profitably be substituted with sewage sludge-bark composts. Composting also serves as an effective means of minimizing the harmful properties of sewage sludge.

K I R J A L L I S U U S L U E T T E L O

Acharaya, C.N., Sabnis, C.V. & Menezes, F.G.T. 1945. Studies on compost. The Indian Journal of Agricultural Science 15: 214-219.

Acharaya, C.N., Parthasarthy, C. & Sabnis, C.V. 1946. Decomposition studies with different types of composts in the soil. The Indian Journal of Agricultural Science 16: 90-99.

Alexander, M. 1964. Introduction to Soil Microbiology. 472 s. 2nd Ed. New York.

Anon. 1951. Annual report for 1951. Rothamsted Experimental Station Harpenden.

-. 1976a. Jätevesipuhdistamon lietteen kompostoiminen kasvuturpeen avulla. Moniste, 16 s. Valtion polttoainekeskus. Jyväskylä.

-. 1976b. Jätevesilietteen raskasmetalleista ja hygieenisistä määrityksistä Suomessa. Vesihallituksen tiedotus n:o 112.

Carlyle, R.E. & Norman, A.G. 1941. Microbial thermogenesis in the decomposition of plant materials, Part 2. Journal of Bacteriology.

Chang Yung & Hudson, H.J. 1967. The fungi of wheat straw compost, Parts 1 & 2. Trans. Br. mycol. Soc. 50: 649-666, 667-677.

Colueke, C.G. & Gotaas, H.B. 1954. Public health aspects of waste disposal by composting. American Journal of Public Health 44: 339-348.

Gray, K.R., Sherman, K. & Biddlestone, A.J. 1971. A review of composting, Part 2. Process Biochemistry 6, 10: 22-28.

Hallenberg, H. 1966. Puujätteiden kompostointitutkimuksia Suomessa ja Ruotsissa. Sahamies n:o 1: 23-25.

Huhta, V., Sundman, V., Ikonen, E., Sivelä, S., Wartiovaara, T. & Vilkamaa, P. Jäteliete-kuorirouhe-seosten maatumisen biologia. Jyväskylän yliopiston biologian laitoksen tiedonantoja 11.

Jansen, J. & Kunst, H. 1953. Are pathogenic micro-organisms killed in waste-dumps where sufficiently high fermentation temperatures occur? Netherlands Journal of Agricultural Science 1: 111-114.

Jeris, J.S. & Regan, R.W. 1973. Controlling environmental parameters for optimum composting, Part 2. Compost Science 14, 2: 8-15.

Kaila, A. 1952. Humufication of straw at various temperatures. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja 78, 3.

Kick, H., Voss, N. & Sappok, B. 1959. Untersuchnungen über die Verfügbarkeit der Pflanzennährstoffe N, P und K in Müll- und Müllklärschlammkomposten. Landwirtschaftliche Forschung, Band 12: 97-110.

Kononova, M.M. 1961. Soil Organic Matter. 450 s. Oxford.

Krogstad, O., Selmer-Olsen, A.F. & Nordlund, B. 1975. Frilandskompostering. Kongsvingerundersøkelsene, Meldning 2.

Latostenmaa, H., Pekonen, E. & Viitasalo, I. 1974. Jätevesilietteiden hyväksikäyttötutkimuksia vesiensuojelulaboratoriossa vv. 1969-1973. Vesiensuojelulaboratorion tiedonantoja 3.

Latostenmaa, H. 1976. Liete lannoitus- ja maanparannusaineena. Jätevesilietteen hyödyntämisen perusteet. Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti, tutkimus 21: 35-39.

Mattila, S. 1975. Tilastotiede 2. 174 s. Helsinki.

Neal, J.L., Bollen, W.B. & Lu, K.C. 1965. Influence of particle size on decomposition of red alder and douglas fir sawdust in soil. Nature 205: 991-993.

Nilsson, G. & Valdmaa, K. 1-74. Kompostering av bark och aflatoxinhaltiga jordnötsexpeller. Lantbrukshögskolans Meddelanden, Serie A, n:o 216.

Niskanen, R. 1972. Lietelanta ja viemärilieta lannoitusaineena. Laudaturtyö. Helsingin yliopisto.

Nykvist, N. 1969. Nedbrytningsförsök med bark av tall och gran. Statens väginstitut, Specialrapport 75.

Puolanne, J. 1976. Lietteen laatu. Jätevesilietteen hyödyntämisen perusteet. Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti, tutkimus 21: 24-34.

Roszinski, H. 1970. Verwertung unterschiedlich vorbehandelter Müll-Abwasserfaulschlamm-Komposte durch verschiedene Feldfrüchte auf Sandböden. 103 s. Berlin.

Roszinski, H. & Herzel, F. 1972. Verhalten und Wirkungen von umweltgefährenden Stoffen in Müll-Abwasserschlamm-Komposten, 2 Bericht. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flussbereinigung, Heft 5: 304-310.

Steel, R.G.D. & Torrie, J.H. 1960. Principles and Procedures of Statictics. 481 s. London.

Sundman, V. & Huhta, V. 1976. Biologinen sukkessio jäteliete-kuorirouhe-keinohumuksessa, vuosiraportti 2. Moniste. Helsinki.

Sundman, V. & Huhta, V. 1977. Biologinen sukkessio jäteliesi-kuorirouhe-keinohumuksessa, vuosiraportti 2. Moniste Helsinki-Jyväskylä.

Tatsuno, T. 1964. Properties of humus-like substance in composts and its process of formation. Bulletin of the University of Osaka Prefecture, Series B, 15:9-46.

Virkola, K-E. 1972. Barkens mikrobiella nedbrytning. Barkens Användning. SPCI-meddelande 18: 8-14.

Waksman, S.A. & Diehm, R.A. 1929. Chemical and microbiological principles underlying the transformation of organic matter in stable manure in the soil. Journal of American Society of Agronomy 21: 795-809.

Waksman, S.A. & Gerretsen, F.C. 1931. Influence of temperature and moisture upon the nature and extent of decomposition of plant residues by micro-organisms. Ecology 12: 33-60.